



Energie, croissance et environnement dans les pays de l'UEMOA.

Siriki Nahoua Coulibaly

► To cite this version:

Siriki Nahoua Coulibaly. Energie, croissance et environnement dans les pays de l'UEMOA.. Economies et finances. Université de Rennes, 2014. Français. NNT : 2014REN1G028 . tel-01245253

HAL Id: tel-01245253

<https://theses.hal.science/tel-01245253>

Submitted on 17 Dec 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



THÈSE / UNIVERSITÉ DE RENNES 1
sous le sceau de l'Université Européenne de Bretagne

pour le grade de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE RENNES 1

Mention : Sciences Economiques

**Ecole doctorale Science de l'Homme, de l'Organisation et de la
Société**

présentée par

Siriki COULIBALY

Préparée à l'unité de recherche CREM-UMR 6211
Centre de Recherche en Economie et Management
Faculté de Sciences Economiques

**Energie, croissance
et environnement
dans l'UEMOA (Union
Economique et
Monétaire Ouest
Africaine)**

**Thèse soutenue à Rennes
le 16 Décembre 2014**

devant le jury composé de :

Frédéric LANTZ

Professeur, IFP-School / *rapporteur*

Jean-Philippe BOUSSEMART

Professeur, Université Charles de Gaulle – Lille 3 /
rapporteur

Christophe TAVERA

Professeur, Université de Rennes1 / *examineur*

Isabelle CADORET

Professeur, Université de Rennes 1 / *directrice de
thèse*

L'Université de Rennes1 n'entend donner aucune approbation, ni improbation aux opinions émises dans cette thèse. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.

Au terme de ces longues années de recherche en thèse qui va aussi marquer le début d'une autre aventure de ma vie, j'exprime ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de loin ou de près, à la réalisation de ce travail d'une manière ou d'une autre.

Je tiens d'abord, de tout cœur à exprimer mes sincères remerciements à ma directrice de thèse, le Professeur Isabelle CADORET de la faculté des Sciences Economiques de l'Université de Rennes¹. En acceptant de diriger cette thèse non financée, elle m'a offert l'opportunité de réaliser mon rêve de faire la recherche. Face aux difficultés financières qu'il faut surmonter et résoudre et les travaux de recherche qu'il faut mener, elle a su trouver les mots et l'attitude pour que cette thèse arrive à son terme. Je lui réitère mes remerciements pour sa compréhension, son aide, ses conseils, ses orientations et sa disponibilité.

J'adresse mes remerciements aux Professeurs Frédéric LANTZ, Jean-Philippe BOUSSEMART et Christophe TAVERA qui m'ont fait l'honneur d'accepter de participer à mon jury de thèse et d'évaluer mes travaux de recherche.

Cette thèse a été aussi l'objet de belles rencontres et collaborations avec des enseignants, des chercheurs et des doctorants qui ont permis d'enrichir mes connaissances, surtout scientifiques et de mener dans la confiance mes recherches. J'ai une pensée pour tous les membres du CREM, les doctorants de l'association PROJECT avec qui les rapports ont été très conviviaux et étendus au delà des bureaux de l'Université, le personnel administratif de la faculté des Sciences Economiques de l'Université de Rennes¹.

Ce chapitre de ma vie fait de hauts et de bas, a aussi ses sections hors académique, essentiellement familiale, sentimentale, amicale et associative. J'exprime ma gratitude à toute ma famille en Côte d'Ivoire qui a su m'encourager malgré la distance. Je pense à ma mère, mes frères et sœurs, mes cousins et cousines. J'adresse une mention très spéciale à ma compagne Manon LERESTIF, les mots ne peuvent suffire à lui exprimer toute ma

REMERCIEMENTS

gratitude et ma reconnaissance. Son soutien et ses encouragements permanents, de même que ceux des membres de sa famille m'ont énormément apporté. Je pense aux familles LERESTIF à Pacé, à Plélan-le-Grand, à Bovel et à Chantepie, LE BERRE à Cesson Sévigné, et MASSIOT à Acigné et Rennes. Je remercie la communauté Ivoirienne à Rennes, principalement M. et Mme KONAN. J'exprime ma gratitude à tous les membres bénévoles de l'ACZA (Association Culturelle Zassa d'Afrique) et à la famille FOFANA à Paris. J'ai eu la chance d'être entouré, tout au long de cette thèse par des personnes très aimables qui m'ont aidé à surmonter les difficultés et les moments d'incertitude.

Merci à tous ceux que je n'ai pas cité et qui ont d'une manière ou d'une autre contribué à l'aboutissement de ce travail et qui sauront se reconnaître.

DEDICACES

Je dédie cette thèse aux trois femmes les plus importantes qui donnent des couleurs à ma vie :

- Ma mère **Karidja OUATTARA**
- Ma compagne **Manon LERESTIF**
- Ma fille **Yéli COULIBALY**

	<u>Page</u>
SOMMAIRE	1
GLOSSAIRE DES ABREVIATIONS	2
INTRODUCTION GENERALE	5
PARTIE 1 : CROISSANCE ET ENVIRONNEMENT DANS LA ZONE UEMOA	17
INTRODUCTION DE LA PARTIE 1	19
CHAPITRE I : CROISSANCE – ENVIRONNEMENT :	
LA RELATION DE KUZNETS	21
CHAPITRE II : CROISSANCE - ENVIRONNEMENT : CONVERGENCE	
DU PIB PAR TETE ET DES EMISSIONS DE CO ₂ PAR TETE ...	67
CONCLUSION DE LA PARTIE 1	113
PARTIE 2 : CROISSANCE – ENVIRONNEMENT : UNE ANALYSE PAR PAYS	115
INTRODUCTION DE LA PARTIE 2	116
CHAPITRE III : CAUSALITE ENTRE PIB, ENERGIE ET CO ₂	117
CHAPITRE IV : ANALYSE DES CHOCS	157
CONCLUSION DE LA PARTIE 2	195
CONCLUSION GENERALE	197
RECOMMANDATIONS	202
BIBLIOGRAPHIE	205
TABLE DES MATIERES	233
LISTE DES TABLEAUX	236
TABLE DES FIGURES	238

GLOSSAIRE DES ABREVIATIONS

AIE	Agence Internationale de l'Energie
BCEAO	Banque Centrale des Etats de l'Afrique de l'Ouest
BOAD	Banque Ouest Africaine de Développement
CFA	Communauté Financière Africaine
CO₂	Dioxyde de Carbone
DOLS	Dynamics Ordinary Least Square
EKC	Environmental Kuznets Curve
FMI	Fonds Monétaire International
FMOLS	Fully Modified Ordinary Least Square
GES	Gaze à effet de serre
GMM	Méthode des Moments Généralisés
IV	Méthode des variables instrumentales
MCO	Moindres Carrés Ordinaires
ML	Maximum de vraisemblance
OCDE	Organisation de Coopération et de Développement Economiques
PIB	Produit Intérieur Brut
SAR	Spatial AutoRegression
SDM	Spatial Durbin Model
SVAR	Modèle Vectoriel Autorégressif Structurel
UEMOA	Union Economique et Monétaire Ouest Africaine
UMOA	Union Monétaire Ouest Africaine

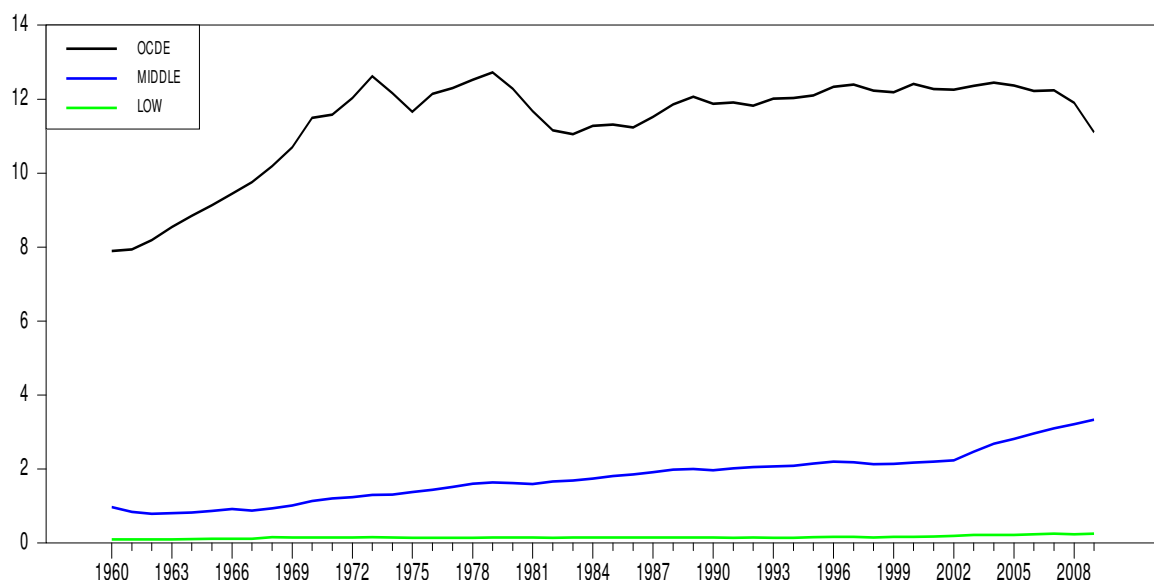
GLOSSAIRE DES ABREVIATIONS

Union	Union Economique et Monétaire Ouest Africaine
VAR	Modèle Vectoriel Autorégressif
VECM	Modèle Vectoriel à Correction d'Erreur

La consommation d'énergie, la croissance et l'environnement sont des thèmes d'ordre général mais qui deviennent des préoccupations croissantes vu la situation actuelle de la planète d'une part, sur le plan de la dégradation de l'environnement à travers son exploitation abusive et sa pollution et d'autre part, sur le plan énergétique. L'énergie est devenue incontournable dans la recherche du développement et du bien-être, mais elle est aussi plus difficilement accessible, surtout pour les pays en voie de développement. La pollution de l'environnement, est un sous-produit du processus de croissance-développement. Ces questions sont devenues planétaires et le monde entier se mobilise, à travers plusieurs canaux pour trouver des réponses adéquates : la recherche, les investissements, la sensibilisation, les sommets internationaux sur l'environnement.

La responsabilité historique des pays développés dans la concentration actuelle des gaz à effet de serre dans l'atmosphère est relativement très élevée. En effet les pays industrialisés sont à l'origine de 80% du CO₂ déjà accumulé. En revanche, les responsabilités devraient s'inverser d'ici à l'an 2050 selon l'AIE. Le Graphique 0-1 ci-dessous représente le niveau des émissions de CO₂ pour les pays à revenu élevé (OCDE), à revenu intermédiaire (MIDDLE) et à revenu faibles (LOW).

Graphique 0-1 : Emissions de CO₂ (million de Kt) entre 1960 - 2009



Source des données : base de données de la Banque Mondiale

INTRODUCTION GENERALE

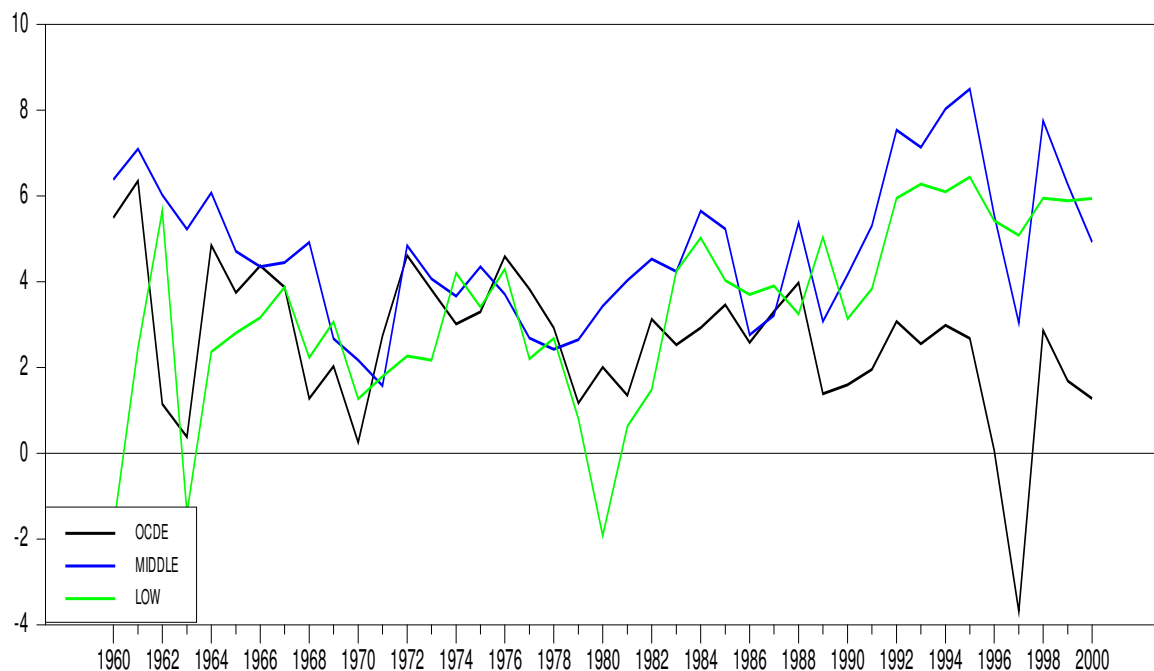
Le graphique 0-1 ci-avant montre la responsabilité historique des pays industrialisés dans la concentration de CO₂ dans l'atmosphère. En effet, ces derniers émettaient environ quatre fois plus de CO₂ que les autres pays de la planète en 1960. Ces émissions ont augmenté jusqu'à la fin des années 1970 où elles ont atteint environ six fois celles des économies à revenu intermédiaire et douze fois celles des économies à revenu faible. Après une légère baisse, ces écarts sont restés sensiblement constants jusqu'au début du 21^e siècle. Depuis lors il y a un resserrement des écarts, caractérisé par la tendance à la baisse du niveau des émissions de polluants des pays industrialisés d'une part et une tendance à la hausse des émissions de polluants des pays à revenu intermédiaire et faible, d'autre part. Selon l'AIE, les courbes du graphique 0-1 tendraient à se croiser d'ici à l'an 2050.

Les émissions futures de gaz à effet de serre seront fonction de la population et de l'évolution de la situation économique, technologique et des conditions sociales, d'une part, mais aussi de la quantité et des formes d'énergies consommées, d'autre part. L'essentiel de la croissance future proviendra probablement des économies émergentes et des économies en développement où la croissance économique et démographique est la plus rapide, mais où les projections sont aussi les plus incertaines. En revanche dans ces zones, le niveau technologique est encore faible, contrairement aux pays industrialisés, pour pouvoir contrôler et freiner les émissions de polluants d'origine anthropique. A l'horizon 2020 les écarts de niveau de pollution se réduiraient de façon très nette. En revanche, à l'horizon 2050 les pays de l'OCDE auront tendance à relativement moins polluer. Le rythme de croissance de ce type de pollution est donc plus fort dans les pays du Sud. Les graphiques 0-2 et 0-3 illustrent bien les espoirs d'accélération de la croissance économique surtout dans les pays à revenu intermédiaire et faible, mais aussi, les préoccupations liées à l'accélération de la dégradation de l'environnement.

Le graphique 0-2 trace l'évolution des taux de croissance du PIB dans le monde, dans les pays de l'OCDE, dans les pays à revenu intermédiaire et dans les pays à revenu faible. Sur ce graphique, nous notons qu'à partir de 1995, le taux de croissance du PIB est

plus fort dans les pays autres que les pays développés. L'idée avancée plus haut que l'essentiel de la croissance mondiale future proviendrait des pays à revenu intermédiaire et faible, se confirme et se renforce au fil des années comme le montre le graphique 0-2.

Graphique 0-2 : Taux de croissance du PIB réel selon les niveaux de développement



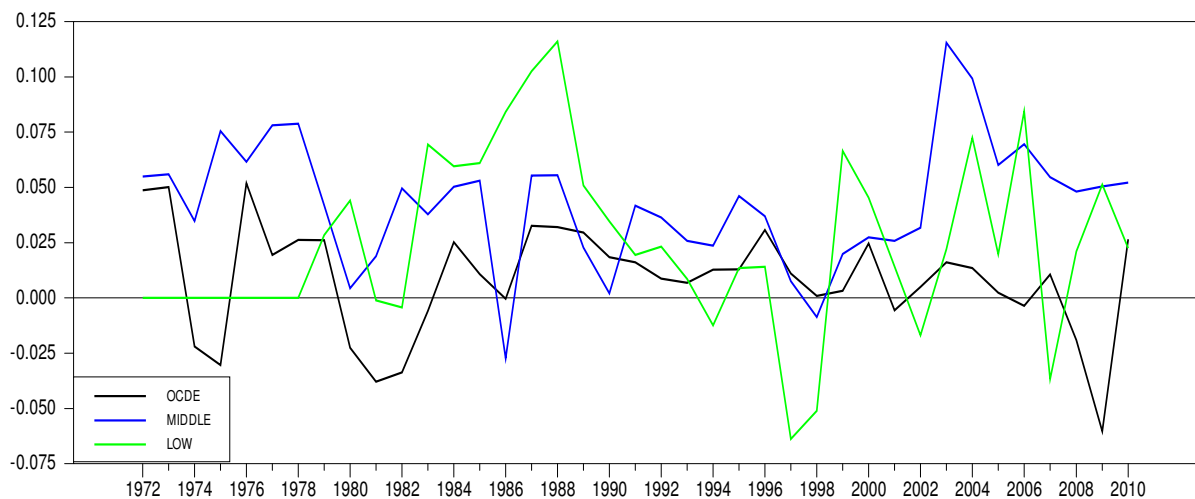
Source des données : base de données de la Banque Mondiale

Le graphique 0-3 représente les taux de croissance des émissions de CO₂ de l'OCDE, de l'ensemble des pays à revenu intermédiaire et des pays à revenu faible. De façon générale, les écarts entre les courbes sont assez faibles d'une part, toutefois, la courbe des pays de l'OCDE est en dessous de celles des pays à revenu intermédiaire et faible. Ce qui confirme que l'évolution des émissions de polluants dans ces derniers pays est plus élevée. Après l'année 2000, les écarts de croissance des émissions de CO₂ sont devenus relativement plus nets.

INTRODUCTION GENERALE

Il ressort que durant les dernières décennies, la croissance du PIB et des émissions de CO₂ dans le monde provient en grande partie des pays émergents et des pays en voie de développement. Ce qui laisse penser qu'il y aurait un lien entre croissance et pollution. Un fait stylisé suscite également une inquiétude liée à la pollution dans le processus de croissance-développement dans les pays du Sud. Il s'agit du cas de la Chine.

Graphique 0-3 : Taux de croissance des émissions de CO₂ (tonne métrique par tête) en fonction des niveaux de développement



Source des données : base de données de la Banque Mondiale

La Chine était jusqu'aux années 1980 un pays en voie de développement. Depuis 1995 selon des chiffres de la Banque Mondiale, il y a eu un boom du PIB réel qui a atteint un taux de croissance de 14 % en 2007. La Chine est aujourd'hui la deuxième puissance économique mondiale. Parallèlement, les émissions de CO₂, des polluants en général, ont explosé et la Chine est aussi devenue le deuxième plus gros pollueur après les Etats-Unis. Le processus de croissance dans les pays en voie de développement semble avoir des effets néfastes sur l'environnement. Dès lors la question environnementale est devenue une préoccupation majeure pour les décideurs politiques et les chercheurs. L'interconnexion et l'interdépendance à l'échelle de la planète amènent la société dans son ensemble à

multiplier les sommets en vue de lutter contre le changement climatique. La recherche de solutions qui réconcilient croissance et préservation de l'environnement, autrement dit d'une croissance durable est devenue une priorité. La stratégie de lutte contre la dégradation de l'environnement est menée à l'échelle internationale, principalement à travers les campagnes de sensibilisations lors de sommets, qui constituent des forces de propositions. Ces dernières sont très souvent ciblées comme celles du protocole de Kyoto. En effet, ce dernier a fait une catégorisation des pays et proposé des stratégies en termes d'objectifs pour les uns et en termes de programmes pour les autres. La mise en œuvre pratique des propositions de solutions est, a priori, individuelle ou régionale, vu l'hétérogénéité dans le monde.

Le but de la croissance durable est de préserver un environnement sain. Il s'agit par le biais de l'environnement de créer les conditions d'une économie plus stimulante qui attirera les capitaux. L'objectif ultime étant de rendre compatible croissance et développement durable. La notion de développement durable a été popularisée depuis le rapport Brundtland en 1984. Selon ce rapport le développement durable serait considéré comme un processus de changement par lequel l'exploitation des ressources, l'orientation des investissements, des changements techniques et institutionnels se trouvent en harmonie et renforcent le potentiel actuel et futur de satisfaction des besoins des hommes. L'on peut lui attribuer deux approches, économique et écologique. Selon l'approche économique globale, le développement durable serait l'ensemble des éléments qui permettent le maintien ou la croissance du revenu et du bien être économique. Quant à l'approche écologique, le développement durable exige la gestion et surtout le maintien d'un stock de moyens de production au moins constant et ce dans un souci d'équité intergénérationnelle mais aussi intra générationnelle, (Wanko et Smida, 2001). Deux types de stocks sont à distinguer selon Barde (1991). Un stock de capital que l'on qualifie d'artificiel et qui comprend l'ensemble des biens et facteurs de production qui sont le produit de l'activité humaine ; et le capital dit naturel qui comprend les ressources naturelles qu'elles soient renouvelables ou non. Le développement durable ne doit alors être dissocié de la préoccupation et de la sauvegarde de ce capital naturel qui constitue un

INTRODUCTION GENERALE

des facteurs clés de la croissance économique en particulier les ressources non renouvelables comme les énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon etc.), (Wanko et Smida, 2002).

D'une part, l'analyse empirique de Kraft & Kraft (1978), de la relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique et les implications de politiques économique et énergétique montre qu'il existe une relation positive entre la consommation d'énergie et la croissance économique surtout pour les pays en voie de développement. D'autre part l'analyse initiée par Forster (1973) suivies plus tard par celles de Luptacik & Shubert (1982), Van Der Ploeg & Withagen (1991) ont montré que la pollution est un sous-produit de la production dans le processus de croissance et de la consommation d'énergie. Ces analyses soulignent la corrélation croissance économique – énergie – émissions de polluants, mais n'identifient pas les relations de causalité.

Il existe deux autres approches complémentaires qui analysent la relation environnement et croissance économique de long terme. La première méthode est proposée par Grossman & Krueger (1991), qui se sont inspirés des travaux de Kuznets (1955). En effet, Kuznets (1955) prédit qu'au fur et à mesure que le revenu par tête s'accroît, l'inégalité de revenu s'accroît d'abord, puis décroît après avoir atteint un certain seuil. Autrement dit, la distribution des revenus devient plus inégale en début de croissance puis elle devient plus égale lorsque la croissance se poursuit. Cette idée a été reprise et testée dans le domaine de l'économie de l'environnement par Grossman et Krueger. Les émissions de polluants peuvent s'accélérer avec la croissance puis décélérer, formant une relation en forme de « U » inversé : c'est l'hypothèse EKC (Courbe de Kuznets Environnementale). La seconde est fondée sur les propriétés clefs du modèle de croissance de Solow (1956). Ce dernier prédit un rattrapage des pays à revenu relativement élevé, par les pays à revenu plus faible à terme : c'est le processus de convergence. Brock & Taylor (2004) s'inspirent du modèle de Solow, du moins de ses propriétés fondamentales – rendements constants dans la fonction de production et rendements décroissants dans les facteurs de production – pour étudier la convergence des émissions

de polluants. Brock et Taylor dans le cadre du modèle de Solow examinent les conditions d'existence de l'EKC. Le Green Solow Model, dérivé du modèle de croissance de Solow, constitue une explication théorique de l'hypothèse EKC, qui n'est observée que dans des conditions particulières de convergence des émissions de polluants.

L'EKC, selon la littérature empirique, est généralement observée dans les pays développés et très peu dans les pays en voie de développement. Dans ces derniers, l'air, le sol et l'eau sont pollués à travers plusieurs procédés. Il y a non seulement les produits que rejettent les cheminées des usines des grandes branches comme celles des métaux non ferreux et des produits pétroliers, mais aussi les émanations diffuses des petites entreprises de cimenteries, de raffineries de plomb, de fabrique d'engrais chimique et de pesticides. La déforestation massive en vue de l'exportation du bois et de l'agriculture de même que les techniques agricoles (sur brulis) sont des causes de pollution surtout dans les pays africains. Ces polluants s'échappent directement dans l'atmosphère, dans les eaux ou subissent des mesures d'antipollution inadéquates. Toutefois dans les pays en développement la pollution est aggravée par l'apport des déchets toxiques et dangereux en provenance des pays industrialisés. D'autres facteurs d'aggravation existent. Il y a par exemple le manque de compétences et de connaissances quant aux effets de la pollution, aux méthodes de surveillance et aux techniques de dépollution et d'antipollution. L'absence d'infrastructures et d'investissements dans les technologies non polluantes qui semblent être déterminants dans le processus de développement durable. La relation croissance – environnement dans les pays en voie de développement est par conséquent généralement linéaire et positive.

Dans cette thèse, nous nous intéressons à la zone UEMOA (Union Economique et Monétaire Ouest Africaine). L'UEMOA est aujourd'hui composée de huit pays en voie de développement que sont le Bénin, le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire, la Guinée Bissau, le Mali, le Niger, le Sénégal et le Togo. A sa création, les pays fondateurs ne constituaient qu'une zone monétaire, l'UMOA (Union Monétaire Ouest Africaine) en mai 1962. Ils manifestaient ainsi leur volonté de coopération monétaire à la fois entre eux, au sein d'une

INTRODUCTION GENERALE

union, et avec la France au sein de la Zone Franc. Ces pays disposent désormais d'une monnaie commune, d'une Banque Centrale et d'une Banque de développement : le FCFA (Franc de la Communauté Financière Africaine), la BCEAO (Banque Centrale des Etats de l'Afrique de l'Ouest) et la BOAD (Banque Ouest Africaine de Développement). Grâce à cet environnement monétaire plus stable - monnaie commune, ancrage au franc français et règles de gestion monétaire - les pays membres de l'UMOA, ont connu, en moyenne, de meilleures performances économiques que les autres pays d'Afrique sub-saharienne. La croissance économique a été en général supérieure à la croissance démographique. Ce qui a permis d'améliorer le bien-être des populations et fait de la zone, une des unions monétaires les plus abouties du continent. A cause de la succession des crises dans les années 1980 (la détérioration des cours des matières premières et l'appréciation réelle du FCFA), les principaux indicateurs macro-économiques et financiers ont connu une détérioration rapide, plongeant les pays de l'UMOA dans une crise économique profonde. Il est apparu donc, que la stabilité monétaire est nécessaire mais pas suffisante pour assurer une croissance durable. Il était devenu évident que les mécanismes de régulation monétaire devaient être accompagnés par des réformes économiques pour assurer la cohésion de l'Union et lancer les bases d'une croissance durable.

Le 10 janvier 1994, les pays membres de l'UMOA ont signé le traité instituant l'UEMOA (Union Economique et Monétaire Ouest Africaine), à Dakar. Ils ont exprimé ainsi leur volonté d'approfondir leur intégration économique. Les objectifs et missions ont évolué et sont devenus principalement :

- L'unification des espaces économiques nationaux, avec pour but de faire de l'Union un marché porteur et attractif pour les investissements ;
- La consolidation des cadres macroéconomiques nationaux par l'harmonisation des politiques dans tous les secteurs.

Le protocole additionnel N°2, relatif aux politiques sectorielles de l'UEMOA liste les secteurs du développement économique et social, qui sont concernés par la mise en œuvre commune des politiques. Les pays membres ont convenu de mettre en œuvre des

politiques sectorielles communes dans les secteurs suivants : les ressources humaines, l'aménagement du territoire, les transports et télécommunications, l'environnement, l'agriculture, l'énergie, le secteur industriel et minier.

Les pays de l'UEMOA, depuis le début du 21^e siècle, semblent avoir retrouvé le chemin de la croissance économique et des perspectives prometteuses. Ce résultat proviendrait essentiellement de la réorientation des objectifs de l'Union en 1994. Le tableau 0-1 ci-après montre le dynamisme économique de la zone.

Tableau 0-1 : Evolution du taux de croissance de la zone UEMOA

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Bénin	3,1	2,9	3,8	4,6	5,1	2,7	2,8	3,5	4,7
Burkina Faso	4,6	7,1	5,5	4,0	5,0	3,2	5,2	5,5	6,2
Côte d'Ivoire	1,6	1,8	1,2	1,5	2,2	3,8	3,0	4,0	5,1
Guinée Bissau	3,2	3,8	1,8	2,7	3,5	3,0	3,5	4,3	4,5
Mali	2,3	6,1	5,3	3,2	4,9	4,5	5,0	5,4	6,0
Niger	-0,8	7,4	5,1	3,1	9,5	-1,2	5,8	5,2	6,2
Sénégal	5,8	5,7	2,3	4,8	3,3	2,2	4,0	4,4	4,7
Togo	2,5	1,3	3,9	1,5	1,8	3,2	3,4	3,9	4,1
UEMOA	2,8	4,1	3,1	3,0	3,1	3,0	3,9	4,5	5,3

source: BCEAO (Banque Centrale des Etats de l'Afrique de l'Ouest)

Globalement la zone UEMOA a mieux résisté que prévu à la situation de crise mondiale entre 2008 et la fin 2010 et la situation économique générale laisse prévoir de bonnes perspectives à court et moyen terme. En effet selon le FMI dans un rapport sur la

INTRODUCTION GENERALE

zone paru en mars 2012, le commerce essentiellement basé sur les matières premières, les transferts de fonds des migrants, les investissements directs étrangers et les termes de l'échange sont les principaux canaux de transmission vers l'UEMOA et ils sont dans une dynamique positive. Vu cette dynamique, le FMI a établi des prévisions de croissance de plus de 5 % par an entre 2014 et 2016 pour la zone. Cette croissance s'accompagne d'une dégradation de l'environnement, les émissions de CO₂ ont par exemple augmenté de 0.4 % environ par exemple depuis 2000 dans la zone.

L'objectif de la thèse est d'anticiper la relation croissance – environnement pour l'UEMOA. Elle examine l'homogénéité des pays membres afin d'établir s'ils doivent adopter des politiques communes. Pour atteindre cet objectif, notre analyse est organisée en deux parties, chacune composée de deux chapitres. La première partie de la thèse porte sur l'analyse de la relation entre le PIB par tête et les émissions de CO₂ par tête dans la zone UEMOA. Cette partie recherche la forme et l'intensité de la relation entre les variables PIB par tête et les émissions de CO₂ par tête dans le temps à travers des méthodes statistiques et économétriques. Le chapitre I estime l'hypothèse de la courbe de Kuznets Environnementale entre 1970 et 2010. Les résultats montrent que les pays de l'Union, de façon générale, se situent sur la partie ascendante de la courbe de Kuznets environnementale. En d'autres termes, la relation croissance – environnement dans l'UEMOA est linéaire et positive. Il est aussi apparu que les pays de l'Union ne sont pas homogènes.

Le chapitre II analyse la relation PIB – CO₂ dans un cadre plus général de croissance. Nous estimons dans ce chapitre la convergence du revenu par tête d'une part et la convergence des émissions de CO₂ d'autre part, par le Green Solow Model (GSM). Les résultats montrent que la convergence du revenu par tête est une réalité dans la zone : il y a un phénomène de rattrapage des pays à revenu relativement plus élevé dans la zone par les pays à revenu plus faible et la prise en compte de la dimension spatiale confirme ce résultat. En revanche il n'y a pas de convergence des émissions de CO₂ dans la zone : il n'y a pas de rattrapage. Cette partie montre aussi que le rattrapage du PIB réel ne

s'est pas accompagné simultanément du rattrapage des émissions de CO₂. Les résultats de l'estimation pays par pays de l'EKC révèlent l'hétérogénéité dans la zone UEMOA.

La deuxième partie poursuit l'analyse de cette relation croissance - environnement sur la base de l'hétérogénéité de la zone. Dans cette partie, le chapitre III teste les liens de causalité entre les variables PIB réel, émissions de CO₂ par tête et consommation d'énergie par tête. Ces liens de causalité sont estimés par les méthodes de correction d'erreur (VECM), DOLS et FMOLS. Les résultats trouvés, indiquent l'absence de liens de causalité uniforme entre les variables pour les pays, confirmant ainsi l'hétérogénéité de la zone. Nous avons pu établir pour chaque pays de l'UEMOA les triangles de causalité de long terme. Pour terminer, Le chapitre IV utilise une spécification vectorielle autorégressive (VAR) pour analyser l'impact des chocs d'offre et les chocs énergétiques sur la pollution pour chaque pays à travers les fonctions de réponse impulsionnelles et la décomposition de l'erreur de prévision. Il apparaît que ces chocs sont asymétriques, en d'autres termes, les réponses du CO₂, de l'énergie et du PIB aux chocs d'offre et énergétique ne sont pas les mêmes pour tous les pays. Notre analyse montre l'hétérogénéité de la zone.

La suite de la thèse est organisée comme il suit :

Partie 1 : Croissance et environnement dans la zone UEMOA

Chapitre I : Croissance – environnement : la relation de Kuznets

Chapitre II : Croissance - environnement dans l'UEMOA : convergence du PIB par tête et des émissions de CO₂ par tête

Partie 2 : Croissance – environnement : une analyse par pays

Chapitre III : Causalité entre PIB – énergie - CO₂

Chapitre IV : Analyse des chocs

Conclusion générale.

PARTIE 1

CROISSANCE ET ENVIRONNEMENT DANS LA ZONE UEMOA

INTRODUCTION DE LA PARTIE 1

Le 20^e siècle a été celui de profonds et remarquables progrès pour la civilisation humaine, marqué par de nettes avancées dans les domaines scientifique et technologique. Les principales conséquences de ce fait sont d'une part, l'accroissement de l'exploitation des ressources naturelles et le développement économique et d'autre part, des impacts négatifs de plus en plus croissants sur l'environnement. En effet, la planète entière et le continent Africain en particulier dispose de large quantité de ressources naturelles. Ces ressources ont longtemps été inexploitées et elles sont aussi à l'origine de nombreux conflits entre Etats ou de guerres civiles. L'exploitation de ces ressources a débuté depuis les années coloniales, elle s'est accentuée après les indépendances et continue sa progression, impulsée par la modernisation des moyens d'extraction. Ces ressources ont fortement contribué à la création de richesse. Parallèlement, elles contribuent également à la dégradation de l'environnement à travers leur extraction et exploitation. La recherche du bien-être des populations exige de concilier accroissement du revenu et meilleure qualité de l'environnement. Cette exigence fait de l'évaluation de la relation entre la croissance économique et la pollution, une étape cruciale et préalable.

Dans la littérature économique, plusieurs travaux ont porté sur l'analyse de la relation entre la croissance et la pollution. La référence dans ce domaine est la Courbe de Kuznets Environnementale (EKC). Elle décrit une relation en forme de « U » inversé entre la croissance et la pollution. Cette relation est essentiellement estimée de manière ad-hoc, mais elle peut aussi être évaluée dans un cadre général de croissance, notamment celui du Green Solow Model (GSM). Dans cette partie, nous analysons la relation PIB – CO₂ dans la zone UEMOA dans un cadre statique puis dynamique.

Cette partie de la thèse est organisée en deux chapitres. A la suite de l'introduction, le chapitre 1 dont le titre est croissance – environnement : la relation de Kuznets, fait l'analyse dans un cadre statique de la relation PIB – CO₂. Le chapitre 2, Croissance – environnement : convergence du PIB par tête et des émissions de CO₂ par tête, est suivi par la conclusion de la partie 1.

CHAPITRE I

CROISSANCE-ENVIRONNEMENT : LA RELATION DE KUZNETS

I – INTRODUCTION

La question de l'environnement a connu une attention particulière depuis que le réchauffement de la planète et les autres problèmes environnementaux ¹ sont devenus de plus en plus cruciaux. En particulier, selon Kijima et al. (2010), il est urgent pour les autorités en charge des politiques environnementales de comprendre et de prédire l'évolution de la qualité de l'environnement dans le temps. Pour cela, il est nécessaire de développer des modèles permettant d'identifier la relation entre la qualité de l'environnement et la croissance économique. Contrairement au point de vue radical et pessimiste - développé depuis les années 1970 - selon lequel la croissance économique a des effets néfastes sur l'environnement ²; s'est développé le point de vue selon lequel la relation entre la qualité de l'environnement et le revenu par tête peut avoir la forme d'un « U » inversé. C'est l'hypothèse EKC, la Courbe de Kuznets Environnementale. Elle indique qu'il peut exister une rupture de la relation positive entre la dégradation de la qualité de l'environnement et le revenu par tête à partir d'un niveau seuil du dernier, appelé point de retournement, à partir duquel la relation devient négative. La qualité de l'environnement est généralement mesurée par les émissions de polluants, la déforestation, la qualité de l'eau, la qualité du sol, ... Nous estimons la forme de la relation entre le PIB réel et les émissions de CO₂ dans la zone UEMOA en testant l'hypothèse EKC (Courbe de Kuznets Environnementale).

La relation en forme de « U » inversé entre le revenu et l'inégalité des revenus, qui a été mise en œuvre, en premier par Kuznets (1955), a été réinterprétée dans la littérature de l'économie environnementale depuis les années 1990 sous le nom de « Environmental Kuznets Curve (EKC) ». L'EKC est l'adaptation au domaine de l'environnement de la courbe de Kuznets (1955) qui définit la relation entre le revenu par tête et les inégalités.

-
1. Les principaux problèmes environnementaux sont en autres la pollution des sols à cause de l'infiltration des engrais et des pesticides, la pollution des eaux de surface et des eaux souterraines, la pollution de l'air, la menace sur la biodiversité.
 2. Selon He (2007), pour les défenseurs de : « les limites à la croissance » tels que Georgescu-roegen (1973) et Meadows et al. (1972), la croissance de l'activité économique exige de plus en plus d'énergie et de matières premières tout en générant de plus en plus de déchets.

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

En effet, Kuznets (1955) prédit qu'au fur et à mesure que le revenu par tête s'accroît, l'inégalité de revenu s'accroît d'abord, puis décroît après avoir atteint un certain seuil. Autrement dit, la distribution des revenus est plus inégale en début de croissance puis elle devient plus égale lorsque la croissance se poursuit.

L'hypothèse EKC, conforme à l'argumentation originale stipule que la dégradation de l'environnement augmente d'abord avec la croissance puis baisse. En d'autres termes dans un pays, au départ de la croissance, celle-ci entraînera la dégradation de l'environnement mais au fur et à mesure que le niveau du revenu par tête s'accroît, cette dégradation de l'environnement baissera éventuellement et le pays aboutira à un environnement propre lorsqu'il devient prospère.

La suite du chapitre est structurée en quatre autres sections. La section deux fait une revue de la littérature non exhaustive de l'EKC. Dans la section trois, nous présentons le modèle de l'EKC, puis les résultats de l'estimation du modèle sont présentés et commentés dans la section quatre. La section cinq conclut.

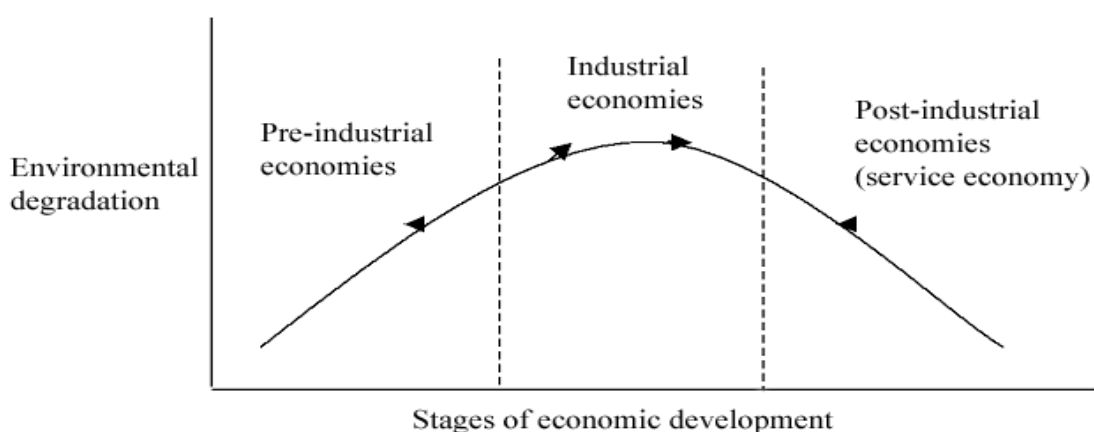
II – UNE REVUE DE LITTÉRATURE DE L'EKC

II – 1 – Le débat autour de la courbe de Kuznets Environnementale

Le débat autour de l'hypothèse de l'EKC a pour origine la controverse de la croissance et les politiques correspondantes, selon Dinda (2004). Les chercheurs avaient, au départ, émis l'hypothèse qu'un niveau élevé du revenu par tête accentuerait la dégradation de la qualité de l'environnement. Puis l'on a émis l'hypothèse selon laquelle, des niveaux élevés de revenu peuvent réduire la dégradation de l'environnement (Beckerman, 1992). Ainsi selon Bhagawati (1993), la croissance économique peut être une condition préalable à une amélioration de la qualité de l'environnement. Ce qui permet à Panayotou (1993) d'affirmer que la croissance économique peut être un puissant canal pour l'amélioration de la qualité de l'environnement dans les pays en voie de développement. Toutefois la dernière hypothèse a fait l'objet de polémiques.

L'EKC peut être graphiquement illustrée comme indiqué sur le graphique I.1 suivant :

Graphique I.1 : Les différentes phases de l'EKC



Source : Panayotou (2003)

Ce graphique détermine trois bandes verticales dans lesquelles les économies peuvent être classées en fonction de la nature de la relation entre le revenu par tête et les émissions de polluants par habitant. La bande de gauche correspond aux économies

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

préindustrielles, encore primaires. La relation entre le PIB et les émissions de polluants a une forme linéaire positive, la dégradation de l'environnement croît avec le produit. La bande centrale correspond aux pays en situation de transition, d'une économie primaire vers une économie industrielle. Cette situation est caractérisée par l'accélération de la consommation des ressources naturelles, surtout énergétiques. Les conséquences sont économiques et environnementales. La dégradation de l'environnement, en particulier les émissions de polluants, atteint un pic. Le niveau de revenu s'améliore, faisant sortir les populations de la pauvreté. En revanche, la demande d'un environnement de qualité devient plus forte. Ces économies relativement plus riches, se tournent vers des technologies d'exploitation des ressources naturelles et de production moins polluantes, ce qui permet d'inverser la courbe de la dégradation de l'environnement. Dans la dernière bande, la relation PIB – émissions de polluants, a une forme linéaire négative. La dégradation de l'environnement baisse avec le produit. Les économies renforcent l'utilisation de technologies de moins en moins polluantes et développent des activités moins polluantes, les services.

La principale explication à la forme de l'EKC est la notion selon laquelle, lorsqu'une population atteint un niveau de vie suffisamment élevé, elle accorde une plus grande importance aux équipements environnementaux (Pezzey, 1989 ; Selden & Song, 1994 ; Baldwin, 1995). En effet, après avoir franchi un seuil particulier du revenu par tête, la volonté des populations à payer pour se procurer un environnement de qualité s'accroît dans une proportion plus grande que celle du revenu (Roca, 2003). Ceci se traduit généralement par de plus en plus de dons aux organisations de protection de l'environnement, la demande et la consommation de produits moins polluants. A ce niveau l'élasticité revenue de la demande d'une qualité de l'environnement est supérieure à l'unité ; un environnement de qualité et sa préservation deviennent des biens de luxe.

L'hypothèse EKC est tirée d'un modèle économique dans lequel il n'existe pas de rétroaction de la qualité de l'environnement sur la croissance économique. La dégradation de la qualité de l'environnement est reconnue avoir des effets pervers sur la qualité de la

vie mais pas directement sur les possibilités de production (Stern et al. 1996). En l'absence de cette rétroaction, la croissance peut être une solution pour accéder à une meilleure qualité de vie dans les pays en voie de développement lorsque l'hypothèse EKC est satisfaite.

Selon Lopez (1994), la croissance économique est rendue possible par l'accumulation des facteurs de production. Une conséquence est l'accroissement de la demande de facteurs de production polluants par les entreprises. De façon parallèle la demande pour un environnement de qualité par la population et la volonté de payer pour l'obtenir s'accroissent. Les bénéfices et les inconvénients associés à l'obtention d'un environnement de qualité donnent donc un aperçu conceptuel de l'EKC. Ce qui nous permet de mieux comprendre les points de vue de certains chercheurs. Munasinghe (1999) affirme que la courbe environnementale de Kuznets est l'ensemble des points d'intersection des courbes de coût marginal et de bénéfice marginal. Pour Andreoni & Levinson (2001), l'EKC peut être déduite du lien technologique qui existe entre la consommation d'un bien et la réduction de ses produits dérivés ou sous-produits non désirés ou polluants. Lorsque la pollution n'est pas taxée, les entreprises l'utilisent comme un facteur de production et cela jusqu'à ce que son produit marginal soit nul. La relation croissance-environnement apparaît comme un processus dynamique. Le stock de capital est reparti en deux : une partie est utilisée directement dans le processus de production avec comme sous-produit la pollution et la dégradation de l'environnement et la seconde partie est destinée à améliorer la qualité de l'environnement (Dinda, 2002). Ainsi pour Dessus & Bussolo (1998), Jaeger (1998), Selden & Song (1994), les dépenses de réduction de la pollution dans le processus de production sont cruciales. Cependant elles ne sont pas déterminantes dans l'EKC pour les déchets physiques dangereux, qui ne sont ni faciles à réduire, ni faciles à transférer. Pour un aperçu plus exhaustif des éléments qui peuvent expliquer la forme en « U » inversé de la relation entre croissance et environnement, voir Dinda (2004). Toutefois, plusieurs études ont vérifié l'EKC depuis, Grossman & Krueger (1991). La littérature sur l'EKC est caractérisée par le manque de consensus et la controverse.

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

Plusieurs critiques de l'hypothèse EKC, ont été publiées par exemple par Ansuategi et al. (1998), Arrow et al. (1995), Ekins (1997), Pearson (1994), Stern et al. (1996) et Stern (1998). La principale critique, surtout tenue par Arrow et al. (1995), est la question de l'endogénéité. L'hypothèse d'absence d'influence de la qualité de l'environnement sur la croissance économique dans le modèle de l'EKC présenté dans « The World Development Report (1992) » est généralement posée. Cette idée suppose que la dégradation de l'environnement ne peut freiner le processus de croissance. Pour eux, l'activité économique est inévitablement perturbatrice dans certains cas. En effet, la satisfaction des besoins nécessite des flux d'énergies et d'autres ressources naturelles. Leur exploitation très souvent abusive, est la source de la croissance mais aussi des effets néfastes sur l'environnement. La question ici est de savoir si un environnement de mauvaise qualité ne constitue pas un frein à la croissance ? De façon générale, la réponse est affirmative. Selon Lieb (2003), le revenu par tête influence la pollution mais la pollution influence aussi le revenu par tête. La productivité du travail peut baisser à cause de certains polluants qui peuvent engendrer des problèmes de santé et une baisse des capacités de concentration et d'apprentissage, (Ewijk & Van Wijnbergen, 1995). Pour McConnell (1997), la pollution réduit les récoltes, les rendements forestiers et les rendements du secteur de la pêche. Il y aurait donc un lien de causalité bidirectionnel entre revenu et pollution. La réduction de la pollution (baisse en volume des émissions de polluants) semble potentiellement constituer un frein à la progression du revenu, par la limitation des activités et des intrants fortement émetteurs de produits néfastes à la qualité de l'environnement. Toutefois, il est apparu que le niveau d'émissions de certains polluants a baissé dans les pays développés. Les études empiriques montrent en général que l'EKC est vérifiée, dans ces pays, pour les polluants autres ³ que le CO₂. Ceci pourrait être lié à un changement du type de polluant émis, plutôt qu'à la baisse globale de la pollution.

Pour Arrow et al. (1995) et Stern et al. (1996), la vérification de l'hypothèse EKC est en partie ou largement due aux effets des échanges internationaux fondés essentiellement sur la théorie des avantages comparatifs. En effet, chaque pays est censé se

3. Voir tableau B dans les annexes

spécialiser dans la production de biens et services intensifs dans les facteurs de production dont il dispose en abondance. Dans ce cas, les pays développés se spécialisent dans les activités intensives en capitaux et capital humain. Les pays en voie de développement se spécialisent dans les activités intensives en ressources naturelles et en main d'œuvre non qualifiée. Ces spécialisations seraient la principale explication de l'hypothèse EKC. La réduction des émissions de polluants dans les économies développées selon ces auteurs pourrait être liée au transfert des activités polluantes vers les pays pauvres.

II – 2 – Quelques résultats empiriques de l'EKC

Dans la littérature, deux schémas se dessinent au niveau des résultats en fonction de la qualité de la variable environnementale prise en compte dans le modèle. Les polluants dits locaux, tels que le dioxyde de soufre (SO₂), l'oxyde d'azote (NO_x), le monoxyde de carbone (CO), etc.... afficheraient avec le revenu une relation en forme de « U » inversé. L'EKC existe pour ces polluants de façon générale. En effet, les impacts de ces polluants peuvent être plus facilement internalisés dans une économie locale ou régionale. Ces polluants locaux influencent la qualité de l'air, de l'eau et donc la santé des populations d'une zone considérée. En revanche, l'hypothèse EKC n'est pas généralement vérifiée pour le CO₂, ce dernier est considéré comme un polluant ayant un impact plus global et planétaire. Il est le principal polluant qui influence le changement climatique.

Le débat autour de la relation entre le revenu et la qualité de l'environnement est animé depuis bien longtemps. Avant les années 1970, il y eu la croyance selon laquelle la consommation ou l'utilisation des ressources naturelles croît presque au même rythme que l'économie, (Dinda ,2004). Dès les années 1970, la question de l'épuisement et de la rareté des ressources naturelles est posée (Meadows et al., 1972), de sorte que les économistes du Club de Rome proposèrent de limiter la croissance économique pour éviter les effets néfastes futurs sur l'environnement. Ce point de vue a été vérifié empiriquement et il est apparu que l'intensité d'utilisation des ressources naturelles et le revenu décrivent une relation en forme de « U » inversé appelé « intensity-of-use hypothesis », (Auty, 1985).

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

C'est à partir des années 1990 que les chercheurs ont testé la validité de l'hypothèse de la relation en forme de « U » inversé entre le revenu et la qualité de l'environnement, au préalable vérifiée entre le revenu et l'inégalité de revenu par Kuznets dans les années 1950 puis dans les années 1970 entre l'intensité d'utilisation des ressources naturelles et le revenu par les économistes du Club de Rome.

C'est Grossman et Krueger (1991) qui sont les premiers à avoir testé l'hypothèse EKC. Ces auteurs ont testé les impacts environnementaux de l'Accord de Libre-échange Nord-Américain (NAFTA) dans le cadre d'un panel. Les variables environnementales prises en compte sont le dioxyde de soufre (SO_2), les particules en suspension dans l'air (SPM). L'hypothèse EKC est vérifiée et le point de retournement (le niveau de revenu par tête à partir duquel les émissions atteignent leur pic), pour le SO_2 est compris entre 4000 \$ et 5000\$. En revanche, ce point de retournement est largement plus faible avec les particules en suspension.

Les travaux de Shafik and Bandyopadhyay (1992) ont porté sur le test de l'hypothèse EKC pour une dizaine d'indicateurs. Ils ont déterminé plusieurs formes de relation de ces indicateurs avec le revenu. Seule la variable, concentration de polluants dans l'air décrit avec le revenu une relation en forme de « U » inversé, le point de retournement étant compris entre 3000\$ et 4000\$. Les autres indicateurs décrivent une relation neutre (la déforestation), une relation linéaire positive (la qualité des rivières), une relation linéaire négative (le manque d'eau potable et le manque d'assainissement urbain). En revanche, dans le cas des émissions de CO_2 , les résultats sont ambigus.

Selden & Song (1994) ont testé l'EKC pour quatre variables d'émissions de polluants, le SO_2 , le NO_x , le SPM et le CO. Cette étude a montré que l'hypothèse EKC est vérifiée pour toutes les variables environnementales dans les pays développés. En revanche, les points de retournement sont largement distincts pour chaque type de polluant. En effet, le niveau de revenu à partir duquel la rupture de la relation positive entre croissance et environnement a été établit à 8 700 \$ pour le SO_2 , 11 200 \$ pour le NO_x , 10 300 pour le SPM et 5 600 \$ pour le monoxyde de carbone (CO).

De leur côté, List & Gallet (1999), ont aussi montré qu'entre 1929 et 1994, la trajectoire des émissions de dioxyde de soufre (SO_2) et d'oxyde de nitrate (NO_x) par tête, par rapport au revenu par tête, a une forme en « U » inversé aux Etats-Unis. Plusieurs autres études ont trouvé les mêmes résultats. C'est le cas parmi tant d'autres de Cole (2000b), de Hill & Magnani (2000), Millimet et al. (2000). Toutefois, Cole et al. (1997) ont analysé la relation entre le revenu et plusieurs indicateurs environnementaux, dont le SPM, le SO_2 , NO_2 , les émissions de méthane, Ils ont trouvé que l'EKC est satisfaite que pour certains polluants. Ces derniers ont un impact localement déterminé. En revanche, pour les indicateurs environnementaux ayant un impact plus global ou indirect sur la santé des populations, la relation avec le revenu est positive ou le point de retournement est très élevé. De ces conclusions, il ressort implicitement que le CO_2 , qui est le principal gaz à effet de serre et dont les effets s'étendent largement dans le temps et dans l'espace, ne satisferait pas l'EKC ; si oui, le point de retournement est élevé.

Les résultats de l'EKC pour le CO_2 dans la littérature ne sont pas unanimes. Certains éléments peuvent expliquer cela. Les résultats sont généralement influencés par la période d'études, le niveau de développement des économies étudiées, les techniques économétriques utilisées, le degré d'homogénéité de l'échantillon, la prise en compte de variables de contrôle ou par la forme quadratique ou cubique du modèle de l'EKC. En effet, Shafik (1994) a trouvé que la relation entre le PIB et le CO_2 est positive entre 1960 et 1990 dans un panel de 149 pays. La rupture dans la relation positive des émissions de CO_2 avec le PIB, satisfaisant ainsi l'EKC, n'a pas lieu contrairement chez Holtz-Eakin & Selden (1995) dans un panel de 131 pays entre 1951 et 1986. Cependant, le point de retournement chez les derniers est très élevé (35 428 \$). Leur résultat est semblable à celui de Cole et al. (1997) concernant les émissions de CO_2 . L'EKC est satisfaite mais le point de retournement est très élevé. Ce qui laisse un doute sur le changement de trajectoire des émissions de CO_2 au fur et à mesure de l'évolution du revenu.

Des études ont trouvé des points de retournement réalisables. Schmalnesee et al. (1998), dans un panel de 141 pays entre 1951 et 1986 ont établi le point de retournement entre 10 000 \$ et 17 000 \$ par tête. Chez Galeotti & Lanza (1999a, 1999b), le point de

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

retournement se situe plutôt entre 15 000 \$ et 22 000 \$ par tête. Panayotou et al. (1999), avec un échantillon de 150 pays entre 1960 et 1992 ont trouvé que le point de retournement est entre 11 500 \$ et 17 000 \$ par tête. L'élasticité revenu des émissions de CO₂ est faible (souvent négative) lorsque le revenu par tête est bas, elle augmente avec le revenu jusqu'à un niveau seuil (le point de retournement situé entre 10 000 \$ et 22 000 \$), puis baisse. Ceci peut s'expliquer par le changement structurel des économies.

Certaines études ont montré l'effet de l'échantillon des économies considérées sur les résultats de l'estimation de l'EKC, principalement le niveau des points de retournement. En effet, les études qui ont d'un côté considéré un échantillon représentatif (cosmopolite) ont trouvé en général une relation monotone entre les différents types de polluants et le revenu, en d'autres termes l'EKC n'est pas vérifiée. En revanche, l'EKC est vérifiée sur des échantillons plus uniformes ou homogènes. C'est le cas des études portant sur les pays de l'OCDE, des économies structurellement proches (voir Dijkgraaf & Vollebergh (1998), Selden & Song (1994), Cole et al. (1997)). De l'autre côté, un échantillon d'économies avec des écarts de niveaux de revenu assez grands, détermine un point de retournement plus élevé qu'un échantillon d'économies avec des écarts de niveaux de revenu très proches (voir List and Gallet (1999), Stern & Common (2001), Lefohn et al. (1999)). En revanche, Hill & Magnani (2002), avec un panel de 156 pays ont montré que l'EKC est satisfaite, mais lorsqu'ils estiment l'EKC par groupe de pays à revenu par tête élevé, intermédiaire et faible, les émissions de CO₂ semblent croître avec le revenu pour tous les groupes. L'EKC n'est pas satisfaite.

Une autre catégorie de recherches s'est intéressée à l'introduction de variables de contrôle dans le modèle EKC. Ces variables sont supposées influencer le produit et/ou la pollution. Ces variables explicatives additionnelles se rapportent généralement à la politique (Torras & Boyce, 1998), la structure du produit (Panayotou, 1997), le commerce (Suri & Chapman, 1998) et la variable énergétique (Jobert & Karanfil, 2010).

Dans la suite, nous présentons et estimons le modèle de l'EKC dans l'UEMOA.

III – PRESENTATION DU MODELE

Depuis que le débat sur l'hypothèse EKC a été lancé, de nombreuses études ont prouvé l'existence de la relation en forme de « U » inversé entre la pollution et le revenu par tête. Toutefois, d'autres études ont trouvé diverses formes à cette relation. Dans cette section, nous présentons le modèle et déterminons pour l'UEMOA la forme de la relation entre les émissions de CO₂ par habitant et le revenu par tête.

L'Hypothèse EKC telle que proposée par Grossman et Krueger (1991) est empiriquement testée en estimant l'équation (1) définie ci-après.

$$y_{it} = \alpha_i + \beta_1 x_{it} + \beta_2 x_{it}^2 + \beta_3 x_{it}^3 + \beta_4 z_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

Où y représente la variable environnementale, x représente le revenu par tête et z désigne toute autre variable qui peut influencer la dégradation de l'environnement. L'indice i désigne le pays et l'indice t indique le temps. α est une constante et les β_k sont les coefficients des k variables explicatives. L'équation (1) permet de tester toutes les formes possibles de la relation entre le revenu par tête et la pollution. Sept différentes formes de cette relation peuvent être obtenues en fonction des valeurs prises par les coefficients β_k .

a - Si $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$, alors il n'existe aucune relation entre la variable économique X et la variable environnementale Y .

b - si $\beta_1 > 0$ et $\beta_2 = \beta_3 = 0$, alors il existe une relation linéaire positive entre le revenu X et la pollution Y .

c - Si $\beta_1 < 0$ et $\beta_2 = \beta_3 = 0$, alors il existe entre le revenu X et la pollution Y une relation linéaire négative.

d - Si $\beta_1 > 0$; $\beta_2 < 0$ et $\beta_3 = 0$, alors la forme de la relation entre le revenu X et la pollution Y est en « U » inversé. L'hypothèse EKC est dans ce cas vérifiée.

e - Si $\beta_1 < 0$; $\beta_2 > 0$ et $\beta_3 = 0$, alors la relation est en forme de « U » entre le revenu X et la pollution Y .

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

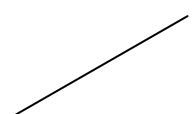
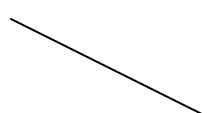




f - Si $\beta_1 > 0$; $\beta_2 < 0$ et $\beta_3 > 0$, alors la relation entre le revenu x et la pollution y a une forme cubique polynomiale ou en forme de « N ».

g - si $\beta_1 < 0$; $\beta_2 > 0$ et $\beta_3 < 0$, alors la relation prend la forme d'un « N » inversé.

L'hypothèse EKC correspond au cas d), il faut que $\beta_1 > 0$ et $\beta_2 < 0$. Si c'est le cas l'on pourra aussi calculer le point de retournement dont la formule est :

$$x^* = \exp \left(- \frac{\beta_1}{2\beta_2} \right)$$

Graphique I.2: Différentes formes de la relation croissance-environnement

<p>Relation linéaire positive</p>  <p>$\beta_1 > 0, \beta_2 = \beta_3 = 0$</p>	<p>Relation linéaire négative</p>  <p>$\beta_1 < 0, \beta_2 = \beta_3 = 0$</p>
<p>Relation en forme de « U »</p>  <p>$\beta_1 < 0, \beta_2 > 0$ et $\beta_3 = 0$</p>	<p>Relation en forme de « U » inversé : EKC</p>  <p>$\beta_1 > 0, \beta_2 < 0$ et $\beta_3 = 0$</p>
<p>Relation en forme de « N » inversé</p>  <p>$\beta_1 < 0, \beta_2 > 0$ et $\beta_3 < 0$</p>	<p>Relation en forme de « N »</p>  <p>$\beta_1 > 0, \beta_2 < 0$ et $\beta_3 > 0$</p>

Notes : ces formes correspondent aux formes que le modèle (1) peut décrire y compris la neutralité.

L'estimation du modèle (1) permet de détecter et de définir la forme de la relation entre le développement économique et l'environnement certes, toutefois elle peut permettre de répondre à d'autres questions. Par exemple, y a-t-il une influence d'autres variables ? Si oui, comment affectent-elles la forme de la relation environnement – développement économique ? Notre objectif est de déterminer la trajectoire des émissions de CO₂ par habitant dans la zone UEMOA et de capter l'influence d'autres variables telles que la consommation d'énergie, le taux de croissance économique, la densité de la population et la part du secteur industriel dans le PIB. Le but est d'améliorer la spécification de base du modèle en y incluant des variables de contrôle susceptibles d'influencer directement ou indirectement les émissions de CO₂ d'une économie d'une part mais aussi pour prendre en compte les différences structurelles entre les pays.

Comme Jobert et al. (2010) nous incluons l'énergie dans le modèle. Cette dernière peut directement contribuer au développement mais un sous-produit néfaste est le rejet de déchets toxiques et de polluants de l'air. De nombreuses études ont montré le rôle positif de l'énergie dans le processus de développement à travers l'hypothèse de croissance. L'énergie⁴ est considérée comme un simple input dans les modèles de croissance néoclassique, (Tsani, 2010). Selon Belloumi (2009), l'énergie est considérée comme la première source de valeur ajoutée parce que les autres facteurs de production tels que la main d'œuvre et le capital ne peuvent bien fonctionner sans l'énergie. Une influence positive de l'énergie pourrait indiquer la consommation de l'énergie fossile, qui émet plus de polluants. En revanche, une influence négative indiquerait une transition vers des sources d'énergie de moins en moins émettrices de polluants.

Dans le contexte actuel de dynamisme économique de la zone UEMOA, nous incluons dans notre modèle le taux de croissance économique, comme Nguyen (1999). En

4. En suivant les recommandations faites par Apergis & Payne (2010) et Acaravci & Ozturk (2010) d'introduire dans l'équation (1) des variables explicatives z_{it} susceptibles d'influencer la pollution, nous faisons comme Jobert et Karanfil (2010) le choix de la variable consommation d'énergie par habitant. En effet la question de l'énergie se pose aujourd'hui aussi bien dans le processus de production que dans la problématique de l'environnement.

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

effet, selon Nguyen (1999), l'impact de l'économie sur l'environnement est admis mais celui du taux de croissance économique n'est pas aussi évident. Pour un niveau donné d'une économie, un fort (faible) taux de croissance peut conduire à une meilleure (mauvaise) qualité de l'environnement, ou inversement ⁵. Selon les spécialistes, la plus grande partie de la croissance économique mondiale proviendra des pays en voie de développement de même que la plus grande partie de la croissance démographique. Ce qui justifie la prise en compte dans le modèle de la densité démographique. Selon Nguyen (1999), un taux de croissance rapide de la population dans les pays en voie du Sud peut être une menace pour les ressources naturelles dans la mesure où leurs économies sont essentiellement basées sur l'exploitation de ces ressources. La qualité de l'environnement peut baisser et ses capacités d'absorption fortement réduites. Selon Dinda (2004), au fur et à mesure que la pression démographique augmente, la qualité de l'environnement se détériore.

L'une des principales explications de l'EKC est le changement structurel de l'économie. Arrow et al. (1995) donne une vue simplifiée de l'EKC, pour eux, c'est une représentation du processus naturel de développement économique d'une économie agricole peu polluante à une économie industrielle polluante et enfin à une économie de service peu polluante. En général, la partie ascendante de l'EKC correspond au passage d'une économie primaire à une économie industrielle. La partie descendante correspond au passage de l'économie industrielle, intensive en énergie, à une économie de services et industrielle intensive en technologie. Nous prenons en compte dans notre modèle cet aspect de l'EKC en incluant la part du secteur industriel dans le PIB. Un signe positif du secteur industriel pourrait indiquer que la zone UEMOA est dans la partie ascendante de l'EKC et un signe négatif placerait la zone dans la partie descendante.

Dans ce qui suit, nous présentons le modèle EKC que nous estimons pour la zone UEMOA. Nous partons de l'équation de base (1) où la variable environnementale est

5. Une croissance économique rapide suppose un déplacement de la courbe décrivant la relation entre l'économie et l'environnement vers le haut. Selon Panayotou (1997), le changement des habitudes environnementales n'est pas systématique en situation de croissance rapide.

expliquée par le produit en incluant ses formes quadratique et cubique, mais aussi des variables de contrôle. Il se présente comme il suit:

$$\begin{aligned} \ln(CO2)_{it} = & \alpha_i + \beta_1 \ln(PIB)_{it} + \beta_2 \ln(PIB)_{it}^2 + \beta_3 \ln(PIB)_{it}^3 \\ & + \beta_4 \ln(En)_{it} + \beta_5 g_{it} + \beta_6 ind_{it} + \beta_7 \ln(dens)_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

Où la variable CO_2 représente les émissions de dioxyde de carbone par tête. Les variables PIB , PIB^2 et PIB^3 sont le revenu par tête et ses formes quadratique et cubique respectivement. En représente la consommation d'énergie par tête, g désigne le taux de croissance économique, la variable (ind) est la part du secteur industriel dans le PIB et la variable $(dens)$ mesure la densité de la population ; cette dernière est une variable proxy de la pression démographique. Le terme α_i représente les effets spécifiques inobservés des pays et ε_{it} est le terme d'erreur. Les β_p , $p = 1, \dots, 7$ sont les coefficients à estimer, $t = 1, \dots, T$ désigne les périodes et les $i = 1, \dots, 7$ désignent les pays.

Dans le cas de l'existence de l'EKC dans la zone UEMOA, le signe attendu du coefficient β_1 est positif, celui du coefficient β_2 est négatif alors que β_3 doit être nul. Il est toutefois possible d'avoir des signes différents de ceux indiqués, dans ce cas la relation entre le revenu par tête et les émissions de CO_2 n'a pas la forme d'un « U » inversé. Elle pourra être monotone et positive ou négative, elle peut avoir une forme en « U », en « N » ou « N » inversé. Les coefficients β_4 et β_7 sont attendus positifs pour indiquer l'impact positif de la consommation d'énergie et de la pression démographique sur les émissions de CO_2 . β_5 peut être positif ou négatif. En effet, l'impact du taux de croissance peut renseigner sur les caractéristiques environnementales des sources de la croissance économique. Par exemple si β_5 est significativement positif et que l'économie est essentiellement basée sur le secteur industriel, alors l'on peut en déduire que l'industrie est intensive en énergie et polluante. Dans le cas contraire ($\beta_5 < 0$), le secteur industriel est intensif en technologie et peu polluante. Le coefficient β_6 peut aussi prendre le signe positif ou négatif.

IV – ESTIMATION DE L'EKC ET DE L'INFLUENCE DE L'ENERGIE ET DU TAUX DE CROISSANCE SUR LES EMISSIONS DE CO₂

Dans la procédure standard d'estimation de l'EKC, la relation croissance - environnement est déterminée par les coefficients β , de l'équation (2). L'idée dans le cas que nous analysons est que la relation entre les émissions de CO₂ par habitant et le PIB par tête peut avoir la forme d'un « U » inversé ou bien d'autres formes. En général, il est possible d'évaluer l'effet d'autres variables sur la trajectoire des émissions de CO₂. Dans notre cas, les variables de contrôle sont la consommation d'énergie (Aspergis & Payne, 2010) d'une part, le taux de croissance économique et la densité de la population (Nguyen, 1999) d'autre part. La part du secteur industriel dans le PIB est aussi prise en compte. En définitive, nous estimons le modèle (2) d'abord dans le cadre d'un panel puis pour chaque pays (Jobert et al., 2010). En procédant ainsi, nous déterminons si les spécificités individuelles des pays (l'hétérogénéité) influencent les résultats.

IV – 1 – L'analyse descriptive des données : statistiques et « découplage »

Les données utilisées pour cette étude sont annuelles et s'étendent de 1970 à 2010. Elles sont obtenues à partir de la base de données de la BCEAO (Banque Centrale des Etats de l'Afrique de l'Ouest) pour la consommation d'énergie. Le PIB par tête, le taux de croissance économique, la part du secteur industriel dans le PIB et la densité de la population sont obtenues à partir de la base de données de la Banque Mondiale (World Development Indicators (WDI, 2012)). Ces données concernent sept des pays membres de l'UEMOA : le Bénin, le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire, le Mali, le Niger, le Sénégal et le Togo. La Guinée Bissau n'est pas prise en compte ⁶. Le produit intérieur brut par tête (PIB) est exprimé en dollar (US constant 2005). Quand à la consommation totale d'énergie (En), elle est exprimée en kilotonne équivalent pétrole (ktep) par habitant, les émissions de CO₂

6. L'accord d'adhésion de la Guinée Bissau, le huitième pays membre de l'UEMOA, est entré en vigueur le 2 mai 1997. Les données concernant ce pays ne couvrent pas la période 1970-2010. Nous l'avons exclu de l'échantillon.

PARTIE 1 : CROISSANCE ET ENVIRONNEMENT DANS LA ZONE UEMOA

en tonnes métriques par habitant, la densité de la population (dens) en nombre de personnes au Km² et la part du secteur industriel (ind) est exprimée en pourcentage du PIB total. Les données (PIB/tête, En/tête, CO₂/tête, dens) sont prises en logarithme pour le traitement économétrique. Dans ce cas les coefficients sont interprétés comme des élasticités.

Nous présentons dans le tableau I.1 ci-après les statistiques descriptives des données. Considérons les variances between du tableau I.1. Nous pouvons remarquer que toutes les variables dans l'Union n'ont pas le même degré de dispersion. Les écarts entre les pays sont plus importants dans l'ordre pour la variable densité de la population, la part du secteur industriel dans l'économie, les émissions de CO₂ par tête, le PIB par tête, le taux de croissance économique et la consommation d'énergie par tête. En observant les statistiques de chaque pays dans les tableaux A1 à A7 des annexes, la dispersion du taux de croissance est généralement la plus forte.

Tableau I.1 : Statistiques descriptives

Variables	Nbre obs.	Moy.	Ecart type	Variance within	Variance between	Max	Mini
PIB/tête (\$US constant 2005)	287	1161.46	534.29	0.55	0.15	3252.48	512.16
CO ₂ /tête (tm/hbt)	287	0.22	0.18	0.55	0.17	0.78	0.02
En/tête (ktep/hbt)	287	0.11	0.08	0.56	0.09	0.33	0.002
Taux de croissance (%)	287	0.31	4.59	0.56	0.12	12.25	-19.31
Secteur industrie (%)	287	18.79	4.48	0.52	0.24	33.13	6.94
Densité de la pop (%)	287	35.30	25.24	0.45	0.35	115.94	3.48

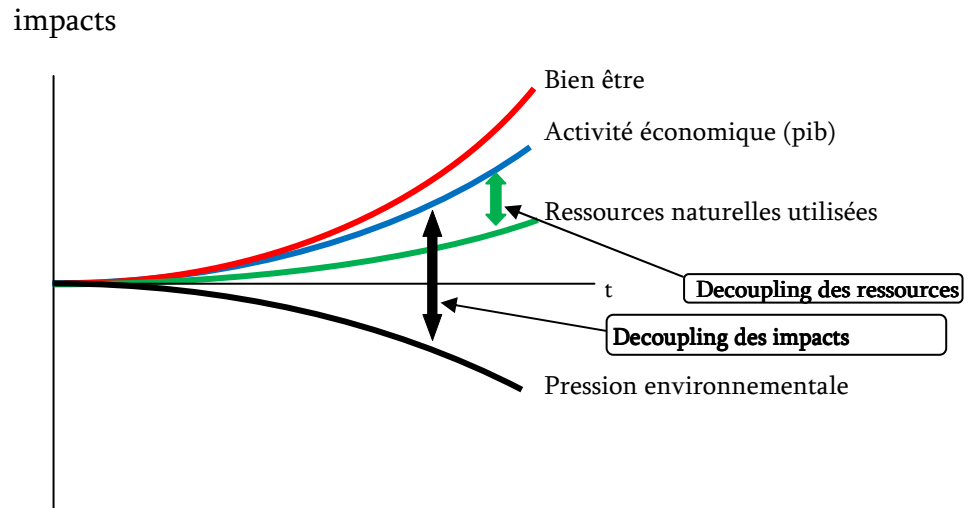
Notes : En = consommation d'énergie, Ktep = kilotonne équivalent pétrole, tm = tonne métrique

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

Une analyse complémentaire aux statistiques des séries est le « découplage » ou le 'decoupling'. A l'origine, c'est Von Weizsäcker (1989) qui introduit la notion du decoupling. Elle a au fil du temps été reconnue comme une conceptualisation réussie de l'intégration économie - environnement. Toutefois ce concept a été utilisé pour la première fois par Zhang (2000) pour étudier les problèmes environnementaux. Le decoupling semble suggérer que le produit intérieur peut s'accroître, alors que dans le même temps, la dégradation de l'environnement peut être maîtrisée. Le terme de « decoupling » a été employé la première fois en 2001 dans un rapport de l'OCDE : « Environmental Strategy for the First Decade of 21st Century » (stratégie environnementale pour la première décennie du 21^e siècle). La première définition donnée par l'OCDE, est que le « decoupling » désigne la rupture dans la relation positive entre la production des biens économiques et les effets néfastes sur l'environnement. Quelques années plus tard en 2005, l'Union Européenne reconnaît le terme « decoupling » et lui trouve deux aspects : le « decoupling » de l'exploitation des ressources naturelles d'une part et le « decoupling » de l'impact de cette exploitation principalement sur l'environnement d'autre part, par rapport à la croissance économique. Selon UNEP (United Nations Environment Program) (2011), le « decoupling » des ressources naturelles ramène à l'accroissement de la productivité des ressources, tandis que le « decoupling » des impacts fait référence à l'efficacité économique. En d'autres termes le decoupling des ressources correspond à la baisse du ratio d'input par unité d'output tandis que le decoupling des impacts correspond à la réduction de la dégradation de l'environnement quand l'output s'accroît, c'est-à-dire une situation dans laquelle un déclin des effets pervers sur l'environnement accompagne la création de valeur ajoutée. La différence entre les deux types de decoupling peut être perçue, selon l'UNEP (2011), à travers le fait que le premier cherche à résoudre le problème de la rareté des ressources naturelles et à relever le défi de l'équité intergénérationnelle par le ralentissement de l'épuisement des ressources naturelles et l'amélioration de la productivité. Le second recherche une meilleure et plus saine utilisation des ressources. L'on peut dire que le premier est quantitatif et que le second est qualitatif.

Nous représentons graphiquement les deux formes de decoupling décrites plus haut, inspiré de celui de l'UNEP (2011).

Graphique I.3 : Représentation stylisée du decoupling des ressources et de celui des impacts



Source : UNEP (2011)

Wang (2010) définit aussi le decoupling et son contraire le recoupling. Pour lui le développement économique, dès son amorce, s'accompagne d'un accroissement de la consommation des ressources naturelles. A moyen ou long terme la tendance s'inverse ; le développement économique s'accompagne d'un recul de la consommation de ressources naturelles : c'est le decoupling des ressources naturelles. Sun (1998) parle de decoupling lorsque la pression environnementale baisse et de recoupling lorsqu'elle s'accroît. De façon générale le decoupling et recoupling font référence aux changements dans la coordination entre la croissance économique, la consommation des ressources naturelles et la pression environnementale. Au-delà des deux types de decoupling, il y a aussi deux formes de decoupling : le decoupling absolu et le decoupling relatif. Selon Wang (2010), l'indice decoupling est le ratio de la variation de la consommation de ressources naturelles (decoupling des ressources) ou la variation de la pression environnementale par rapport au taux de croissance de l'économie pendant une période donnée. En pratique, le decoupling désigne l'effort qui fait en général référence à toutes les actions directes ou indirectes qui induisent une réduction des émissions de polluants dans une dynamique de croissance. Ces

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

actions peuvent être un changement dans les formes d'énergie consommée, dans les activités économiques, une réduction de l'intensité énergétique.

Certaines études ont adopté la méthode du decoupling pour mener leur analyse, c'est le cas de Climent & Pardo (2007) qui ont analysé la relation entre le PIB et la consommation d'énergie en Espagne. Diakoulaki & Mandaraka (2007) ont évalué, à travers le calcul de l'indice decoupling, les efforts de 14 pays de l'Union Européenne dans les émissions de CO₂ liées à la croissance d'origine industrielle. Freistas & Kaneko (2011) cherchent s'il y a decoupling entre l'activité économique et les émissions de CO₂ au Brésil en prenant en compte la consommation d'énergie.

Nous utilisons ici l'indice decoupling introduit par l'OCDE (2002) :

$$ID = \frac{(EP/DF)_{fin\ de\ période}}{(EP/DF)_{début\ de\ période}} \quad (0)$$

Avec EP la pression environnementale qui est représentée par les émissions de CO₂ par tête et DF le produit représenté par le PIB par tête. L'indice decoupling (ID) prend les valeurs suivantes :

- $ID \geq 1$, ce qui indique une situation de decoupling absolu ;
- $0 < ID < 1$, ce qui indique une situation de decoupling relatif ;
- $ID \leq 0$, ce qui indique une situation de recoupling.

L'indice decoupling des impacts peut renvoyer à la notion d'élasticité, puisqu'il mesure la sensibilité des émissions de CO₂ aux variations du revenu par tête. Le tableau ci-après donne l'indice decoupling entre le CO₂ et le PIB pour chaque pays de l'UEMOA sur des périodes de dix ans et sur la période 1970-2010.

Tableau I.2 : Résultats du calcul de l'indice decoupling (CO₂-PIB) entre 1970 - 2010

Pays / périodes	1970-1980	1980-1990	1990-2000	2000-2010	1970-2010
Bénin	- 0.51	0.02	- 0.53	- 0.01	- 1.28
Burkina Faso	- 1.25	0.09	- 0.04	- 0.12	- 1.91
Côte d'Ivoire	- 0.51	0.13	0.07	0.18	0.01
Mali	- 0.36	0.10	0.13	0.23	0.19
Niger	- 1.66	0.49	0.16	0.33	- 1.18
Sénégal	- 1.19	0.26	0.07	0.14	- 0.27
Togo	- 0.67	- 0.01	- 0.37	0.06	- 1.19

Source : calcul de l'auteur

Nous pouvons déduire du tableau I.2 les observations suivantes :

- Il n'y a aucun pays de l'UEMOA qui soit dans une situation de decoupling absolu ($ID > 1$) aussi bien d'une décennie à l'autre que sur la période entière d'étude, 1970-2010. Ce qui indique qu'il n'y a pas eu de stagnation ou de baisse des émissions de CO₂ pendant qu'au même moment le PIB par tête croît.
- Le Bénin, le Burkina Faso et le Togo sont dans une situation de recoupling pendant presque toutes les périodes ; les émissions de CO₂ ont évolué plus rapidement que le PIB par tête.
- La Côte d'Ivoire, le Mali, le Niger et le Sénégal sont dans une situation de decoupling relatif à toutes les périodes sauf pendant la décennie 1970-1980. Les émissions de CO₂ ont évolué dans une proportion moindre que le PIB.
- Globalement sur la période 1970-2010, seuls la Côte d'Ivoire et le Mali ont eu une augmentation des émissions de CO₂ moins importante que celle du PIB.

Le calcul de l'indice decoupling dans la zone UEMOA soulève certains aspects de l'Union. Le résultat laisse soupçonner une relative hétérogénéité des pays dans l'Union.

IV – 2 – Présentation des résultats

Nous présentons dans cette sous-section les résultats de l'estimation du modèle (2) défini plus haut. L'équation (2) est estimée pour déterminer la forme de la relation entre le revenu par tête et les émissions de CO₂ par tête dans l'UEMOA. Notre démarche se présente comme il suit :

1. Estimation pays par pays, ce qui permettra de déterminer s'il y a une formation de groupes de pays ayant des trajectoires d'émissions de CO₂ semblables ;
2. Estimation within, est-ce la spécification appropriée ?
3. Estimation par groupe de pays, selon les résultats de l'estimation pays par pays ;
4. Réestimation par la méthode des variables instrumentales (IV) ou GMM avec la spécification appropriée en 1, 2 ou 3 et test d'endogénéité.

IV – 2 – 1 - Estimation pays par pays

Les premiers résultats de l'estimation du modèle sont présentés dans le tableau C des annexes. Toutes les variables de contrôle ne sont pas significatives pour tous les pays. Nous avons exclu celles qui ne sont pas significatives dans chacun des pays et avons réestimé le modèle. Les résultats sont donnés dans le tableau I.3.

PARTIE 1 : CROISSANCE ET ENVIRONNEMENT DANS LA ZONE UEMOA

Tableau I.3 : Résultats de l'EKC pays par pays

	Bénin	Burkina	CI	Mali	Niger	Sénégal	Togo
α	53, 48 (0.38)	168, 42*** (0.00)	1833, 89* (0.08)	251, 79*** (0.00)	228, 34*** (0.00)	2468, 52*** (0.00)	-219, 49*** (0.00)
pib	3, 16** (0.01)	-1, 20 (0.14)	-14, 25* (0.06)	-1, 49*** (0.00)	-1, 57*** (0.00)	-20, 28*** (0.00)	3, 39 (0.64)
pib^2	-0, 01*** (0.00)	-0, 009 (0.74)	0, 02* (0.07)	0, 01*** (0.00)	0, 008*** (0.00)	0, 04*** (0.00)	-0, 008 (0.67)
pib^3	0, 03 (0.33)	0, 007 (0.88)	-0, 008 (0.75)	0, 09** (0.03)	-0, 07 (0.24)	-0, 007 (0.68)	0, 001 (0.81)
En	-	-	0, 53*** (0.00)	-	0, 28*** (0.00)	0, 25** (0.03)	-
g	-	0, 05* (0.08)	-0, 06* (0.08)	-	-	-	-
Ind	-	0, 10* (0.06)	-	-	-	-0, 53*** (0.00)	-
$Dens$	-0, 29*** (0.00)	-	0, 26** (0.03)	-	-0, 19*** (0.00)	0, 45*** (0.00)	-
TP	7 275 331, 95 \$US	nd	nd	nd	nd	nd	nd
R^2	0, 89	0, 84	0, 67	0, 41	0, 58	0, 45	0, 16
F	87, 11*** (0.00)	45, 76*** (0.00)	17, 85*** (0.00)	10, 62*** (0.00)	12, 27*** (0.00)	7, 63*** (0.00)	1, 08 (0.39)

Notes : TP = point de retournement et nd = non défini.

(***), (**) et (*) indiquent la significativité au seuil statistique de 1%, 5% et 10% respectivement. Les p-value sont entre parenthèses.

Les résultats montrent que les variables de contrôle maintenues dans le modèle dans chacun des pays sont significatives. La consommation d'énergie a un effet significativement positif, comme attendu, sur les émissions de CO₂ en Côte d'Ivoire, au Niger et au Sénégal avec des élasticités respectives de 0.53, 0.28 et 0.25. En revanche, l'impact du taux de croissance économique, du secteur industriel et de la densité de la population n'est pas le même (signe). Le taux de croissance a un effet positif sur le CO₂ au Burkina Faso mais négatif en Côte d'Ivoire. La part du secteur industriel dans le PIB n'est significative qu'au Burkina Faso, avec un signe positif (0.10), et au Sénégal, avec un signe négatif (-0.53). Lorsque la densité de population augmente de 1 %, elle contribue à faire baisser les émissions de CO₂ de 0.29 % au Bénin et 0.19 % au Niger. En revanche, les émissions de CO₂ augmentent de 0.26 % en Côte d'Ivoire et de 0.45 % au Sénégal.

L'interprétation des coefficients β_1 , β_2 et β_3 permet de déterminer la forme de la relation PIB – CO₂. Nous pouvons distinguer deux groupes de pays au sein de l'UEMOA.

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

Les pays pour lesquels il n'y a pas de relation entre croissance et environnement sont le Burkina Faso et le Togo. Le Bénin, la Côte d'Ivoire, le Mali, le Niger et le Sénégal forment le groupe des pays où la relation croissance – environnement existe. Cependant, la relation n'a pas une forme en « U » inversé, elle est en générale, plutôt monotone et négative. Ce résultat est contraire à celui attendu pour des pays en voie de développement. Des éléments d'explication peuvent être trouvés.

Dans la littérature de l'EKC, la phase descendante de la courbe de Kuznets environnementale correspondrait au passage d'une économie industrielle polluante à une économie de services moins polluante. Avec des données issues de la base de données de la BCEAO, nous avons calculé la part des différents secteurs de l'économie dans le PIB dans l'UEMOA. Les contributions s'établissent de 1970 à 2010 entre 17 et 41 % pour le secteur agricole, entre 13 et 22 % pour le secteur industriel et entre 40 et 62 % pour le secteur tertiaire, dans l'Union. Le secteur tertiaire a été dominant, toutefois le secteur primaire continue d'employer la majeure partie de la population active. Cela est dû essentiellement aux perturbations des conditions climatiques, d'une part, responsables de la baisse des productions agricoles et à l'hostilité de l'environnement international, d'autre part, qui se traduit par la baisse des cours des matières premières et les difficultés d'accès aux marchés extérieurs. Par ailleurs, de nouveaux types de rentes sont apparus et se sont développés. Il y a d'un côté, les revenus du commerce de réexportation développé autour des voitures et du matériel informatique d'occasion. De l'autre côté, le secteur des télécommunications a connu un développement fulgurant. Selon le GSMA, l'association de défense des intérêts des opérateurs de téléphonie mobile, l'Afrique est devenu le deuxième marché mondial après l'Asie dans la dernière décennie. La Côte d'Ivoire compte par exemple sept opérateurs en 2012, le Bénin en compte cinq et les autres pays trois. Ces éléments peuvent justifier en partie, pourquoi la relation croissance – environnement est monotone et négative.

IV – 2 – 2 – *Estimation panel de l'EKC*

Tableau I.4 : Résultats de l'estimation du modèle en panel

	MCO	Within	MCG
α	154, 16*** (0.00)	175, 31*** (0.00)	174, 53*** (0.00)
pib	-0, 23 (0.14)	-0, 99*** (0.00)	-0, 87*** (0.00)
pib^2	-0, 0004 (0.53)	0, 001** (0.01)	0, 0007* (0.09)
pib^3	0, 001 (0.93)	-0, 11*** (0.00)	-0, 08** (0.01)
En	0, 20*** (0.00)	0, 42*** (0.00)	0, 39*** (0.00)
g	0, 01 (0.48)	0, 04* (0.07)	0, 05** (0.02)
Ind	0, 14*** (0.00)	0, 26*** (0.00)	0, 24*** (0.00)
$Dens.$	-0, 12*** (0.00)	-0, 06*** (0.00)	-0, 08*** (0.00)
TP	nd	nd	nd
R^2	0, 91	0, 85	0, 85
$F - stat^a$	26, 09*** (0.00)	253, 51*** (0.00)	1671, 17*** (0.00)

Notes : TP = point de retournement et nd = non défini.

(***), (**) et (*) indiquent la significativité au seuil statistique de 1%, 5% et 10% respectivement. Les p-value sont entre parenthèses.

(a) Dans la colonne des effets aléatoires, il s'agit de la statistique de Wald qui suit une loi de $\chi^2(k)$, avec k le nombre de variables explicatives.

Le tableau I.4 présente les résultats de l'estimation des modèles par les moindres carrés ordinaires (MCO), les effets fixes individuels et les effets aléatoires. Les résultats attendus pour que l'EKC existe seraient que le coefficient (β_1) du PIB par tête soit significativement positif, le coefficient (β_2) du PIB par tête au carré soit significativement négatif et celui du PIB par tête au cube (β_3) soit statistiquement nul. Les résultats du tableau I.4 indiquent de façon unanime, pour les deux derniers estimateurs, que tous les coefficients sont significatifs. Les coefficients β_1 , β_2 et β_3 ne sont pas significatifs avec l'estimateur MCO. Les performances du modèle sont relativement bonnes, il explique entre 85 % à 90 %, les émissions de CO₂ dans l'UEMOA.

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

Les estimateurs Within et MCG donnent des résultats très proches. Il est toutefois nécessaire de déterminer la spécification panel appropriée du modèle de l'EKC dans l'Union. Pour cela, nous mettons en œuvre le test d'Hausman (1978). Ici l'hypothèse testée concerne la corrélation des effets individuels et des variables explicatives :

$$H_0: E(\beta_i|X_i) = 0$$

$$H_a: E(\beta_i|X_i) \neq 0$$

Sous l'hypothèse nulle H_0 , la statistique du test d'Hausman est distribuée selon un Chi deux à k degré de liberté (k étant le nombre de paramètres estimés), nous devons retenir l'estimateur MCG, en revanche sous l'hypothèse alternative H_a l'estimateur retenu est le within. Les résultats du test sont les suivants :

$$Chi2(7) = 13.91$$

$$Prob(Chi2) = 0.04$$

La p -value du test d'Hausman est inférieure à 5 %, nous rejetons l'hypothèse nulle. Nous retenons l'estimateur Within.

Les coefficients β_1 , β_2 , et β_3 qui déterminent la forme de la relation entre le revenu par tête et les émissions de CO_2 par tête, bien que significatifs n'ont pas les signes attendus dans le cas de l'existence de l'EKC. L'EKC n'existe pas dans l'UEMOA. Toutefois, ils décrivent une situation prévue dans la littérature, le revenu par tête et les émissions de CO_2 par tête présente une relation en forme de « N » inversé. En effet, $\beta_1 < 0$, $\beta_2 > 0$, et $\beta_3 < 0$ ce qui correspond bien au cas g) décrit plus haut. Les émissions de CO_2 par tête baissent d'abord quand le revenu par tête augmente jusqu'à un seuil, puis augmentent jusqu'à un autre seuil avant de baisser à nouveau.

Nos résultats sont semblables à ceux de Gianni Bellla, Carla Massidda & Ivan Etzo (2010) qui ont trouvé une relation en forme de « N » inversé entre le PIB et le CO_2 pour 55 pays non membres de l'OCDE avec la consommation d'électricité comme variable de contrôle. Toutefois, l'absence de l'EKC dans l'UEMOA n'est pas une surprise, surtout lorsque la variable environnementale considérée est le CO_2 . Pour certains polluants

comme le CO₂ notamment, l'EKC n'est pas vérifiée, (Holtz-Eakin & Selden, 1995 ; Robers & Grimes, 1997 ; Dinda, 2001). La relation est plutôt monotone et positive comme chez Shafik (1994), Moomaw & Unruh (1997), ou en forme de « N » comme l'indique Dinda (2004) et comme l'ont montré Holtz-Eakin & Selden (1992). Les preuves empiriques de la relation en forme de « N » inversé entre le PIB et le CO₂ sont rares à notre connaissance.

Les résultats du tableau I.4 donnent les effets des variables de contrôle. Comme l'on pouvait si attendre, la consommation d'énergie a un impact positif sur les émissions de CO₂ comme chez Jobert et al. (2011). Un accroissement de 1 % de la consommation d'énergie augmente les émissions de CO₂ d'environ 0.42 %. Le taux de croissance a un effet positif sur les émissions de CO₂. Un taux de croissance de 1 % dans la zone UEMOA ferait augmenter de 0.04 % environ les émissions de CO₂. La croissance économique est, dans l'Union entre 1970 et 2010, une cause des émissions de CO₂. Le coefficient β_6 est significativement positif. Il indique qu'un accroissement de 1 % de la part du secteur industriel fait accroître les émissions de CO₂ d'environ 0.26 %.

La densité de la population a un effet significativement négatif sur les émissions de CO₂. Son augmentation de 1 % fait baisser les émissions de CO₂ de 0.06 % environ. Ce résultat est contraire à celui de Nguyen (1999), Selden & Song (1994), Cropper & Griffiths (1994) et Panayotou (1997).

Nous avons une relation en forme de « N » inversé dans l'Union comme l'indique les résultats du tableau I.4. Au fur et à mesure que le revenu par tête augmente, les émissions de CO₂ d'abord baissent, ensuite augmentent puis baissent à nouveau. Cette forme suppose qu'il y a deux points de retournement, un point de retournement minimum qui correspond au revenu par tête à partir duquel les émissions de CO₂ augmentent et le point maximum correspondant au revenu par tête à partir duquel le CO₂ baisse. La formule générale de calcul de ces points de retournement est :

$$x^* = \exp [(-\beta_2 \mp \sqrt{\beta_2^2 - 3\beta_1\beta_3})/3\beta_3]$$

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

Les coefficients obtenus dans le tableau I.4 ne permettent pas de calculer les points de retournement x_1^* et x_2^* . En effet, β_2 est trop faible comparé à β_1 et β_3 si bien que les points de retournement sont indéterminés. Dans ces conditions, nous prenons avec réserves les résultats obtenus. Ici l'on suppose que les pays de l'Union sont homogènes. Si cette hypothèse n'est pas vraie, il est possible qu'il y ait un biais lié à l'hétérogénéité des pays. Dans ce cas, il serait plus raisonnable de considérer que les coefficients de pente varient d'un pays à l'autre et retenir les résultats du tableau I.3. Nous faisons un test de Fisher pour déterminer la meilleure spécification.

Considérons que les résultats des tableaux I.3 et I.4 sont ceux des modèles non contraint et contraint respectivement. Certaines contraintes concernent les coefficients estimés du tableau I.4, ils sont supposés constants pour tous les pays de l'UEMOA. Nous faisons un test de Fisher, ici l'hypothèse nulle d'homogénéité des paramètres contre l'hypothèse d'hétérogénéité. $F_c > F_{(0.01)}$, l'hypothèse nulle d'homogénéité des paramètres du modèle de l'EKC dans l'UEMOA est rejetée. Les coefficients de pente varient d'un pays à l'autre. Nous retenons les résultats du tableau I.3 où il apparaît deux groupes de pays.

IV – 2 – 3 - Prise en compte de l'existence de 2 sous-groupes

Les résultats de l'estimation de l'EKC pays par pays a permis de déterminer deux groupes de pays. Le premier groupe est constitué du Bénin, de la Côte d'Ivoire, du Mali, du Niger et du Sénégal. Le second groupe est celui du Burkina Faso et du Togo. La relation entre croissance et environnement existe chez les premiers et neutre chez les seconds. Nous recherchons ici la forme de la relation croissance – environnement dans chacun des groupes, puis effectuons le test de Fisher.

Les résultats de l'estimation par groupe sont donnés dans le tableau I.5.

Tableau I.5 : Résultats de l'EKC par groupe de pays

	Groupe 1 = UEMOA 2		Groupe 2 = UEMOA 2	
α	250, 56***	(0.00)	87, 47	(0.47)
pib	-1, 57***	(0.00)	-0, 85	(0.64)
pib^2	0, 001***	(0.00)	0, 003	(0.61)
pib^3	-0, 14***	(0.00)	0, 009	(0.47)
En	0, 23***	(0.00)	0, 83***	(0.00)
g	-		-	
Ind	0, 28***	(0.00)	-	
$Dens.$	-0, 11***	(0.00)	-0, 15***	(0.00)
R^2	0, 90		0, 92	
$F - stat$	256, 50***	(0.00)	94, 24***	(0.00)

Notes : TP = point de retournement et nd = non défini. (***), (**) et (*) indiquent la significativité au seuils statistique de 1%, 5% et 10% respectivement. Les p-value sont entre parenthèses.

UEMOA 1 (Bénin, Côte d'Ivoire, mali, Niger et Sénégal), UEMOA 2 (Burkina Faso et Togo)

Les performances de l'estimation sont bonnes, les coefficients de détermination sont 0.9 et 0.92 pour l'UEMOA 1 et l'UEMOA 2 respectivement d'une part, la statistique de Fisher est significative au seuil de 1 % d'autre part. Dans le groupe 1 (UEMOA 1), $\beta_1 < 0, \beta_2 > 0$ et $\beta_3 < 0$, ce qui indique que la relation PIB – CO₂ a la forme d'un « N » inversé. Le coefficient de la consommation d'énergie par tête est significatif, 1 % d'accroissement de la consommation d'énergie fait croître les émissions de CO₂ de 0.23 %. L'effet de la part du secteur industriel dans le PIB est significativement positif, en revanche la densité de la population a un effet significativement négatif. Les résultats de l'estimation de l'EKC pour le groupe UEMOA 1 sont proches de ceux de l'Union du tableau I.4. Ils indiquent que les émissions de CO₂ par tête dans l'UEMOA 1, baissent d'abord, puis croissent avant de baisser à nouveau avec le PIB par tête. Cependant les points de retournement ne sont pas indéterminés. Dans le groupe 2 (UEMOA 2), les

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

résultats indiquent l'absence de relation entre le PIB et le CO₂. Ce résultats est conforme aux ceux obtenus dans l'estimation pays par pays. En effet, la relation croissance – environnement est neutre dans chacun de ces pays. Le taux de croissance et la part du secteur industriel dans le PIB ne sont pas significatifs. La consommation d'énergie a un effet significativement positif au seuil de 1 %, tandis que l'impact de la densité de la population est significativement négatif au seuil de 1 %.

Faut-il retenir les résultats du tableau I.3 ou ceux du tableau I.5 ? Le test de Fisher permet de répondre à cette question. Nous testons ici l'hypothèse nulle d'homogénéité des paramètres dans l'UEMOA 1 d'une part et dans l'UEMOA 2 d'autre part, contre l'hypothèse d'hétérogénéité. Les résultats du test de Fisher indiquent que $F_c > F_{(0.01)}$, l'hypothèse nulle d'homogénéité des paramètres du modèle de l'EKC dans l'UEMOA 1 et dans l'UEMOA 2 est rejetée au seuil de 1 %. Les coefficients de pente varient d'un pays à l'autre. Nous retenons définitivement les résultats du tableau I.3 pour estimer la relation croissance – environnement dans l'UEMOA.

Nous avons souligné plus haut la critique formulée dans la littérature de l'EKC sur l'ignorance du problème d'endogénéité, qui peut affecter la qualité des estimations. Il existe un biais introduit par le lien de causalité bidirectionnel entre le PIB et la dégradation de l'environnement, Lin & Liscow (2013). La croissance du PIB entraîne la pollution, cette dernière peut affecter négativement les capacités de production en agissant par exemple sur la santé des populations. Pour résoudre le problème du biais de simultanéité, le modèle peut être estimé par la méthode des variables instrumentales (IV) ou la méthode des moments généralisés (GMM) en cas de présence d'hétéroscédasticité.

IV – 3 – Prise en compte du problème d'endogénéité dans l'estimation de l'EKC

La question de l'endogénéité a été beaucoup ignorée dans la littérature de l'EKC, pourtant, elle peut affecter la qualité des estimations. Pour résoudre ce problème, nous faisons comme Lin & Liscow (2013) et bien d'autres, en employant une approche avec

PARTIE 1 : CROISSANCE ET ENVIRONNEMENT DANS LA ZONE UEMOA

variables instrumentales. Les instruments utilisés ici sont le logarithme des variables explicatives décalées d'une période, de deux périodes et/ou de trois périodes. Ces instruments n'agissent pas directement sur les émissions de CO₂. Selon Baum et al. (2003), un bon instrument est celui qui est corrélé avec le régresseur et non corrélé avec les résidus. Nous réestimons le modèle de l'EKC par la méthode des variables instrumentales dans l'Union pays par pays, ce qui permet de contrôler le problème d'endogénéité. Pour vérifier la robustesse de nos résultats, nous faisons le test de Durbin-Wu-Hausman qui permet de confirmer la présence d'un problème d'endogénéité et justifier l'estimation par la méthode IV. Nous faisons également les tests de Sargan et de Pagan & Hall pour vérifier respectivement la validité des instruments et l'absence d'hétéroscédasticité. Les résultats sont reportés dans le tableau I.6 :

Tableau I.6 : Résultats de l'EKC avec prise en compte du problème d'endogénéité

	Bénin	Burkina	CI	Mali	Niger	Sénégal	Togo
α	63, 88*** (0.00)	51, 21 (0.86)	320, 17*** (0.00)	297, 02*** (0.00)	195, 10*** (0.00)	230, 52*** (0.00)	85, 13*** (0.00)
pib	13, 60** (0.02)	6, 36 (0.44)	9, 69** (0.04)	1, 60 (0.15)	-1, 27 (0.28)	15, 26*** (0.00)	1, 70 (0.84)
pib^2	-0, 15** (0.01)	0, 06 (0.39)	-0, 17** (0.04)	0, 02 (0.10)	0, 007 (0.63)	0, 12*** (0.00)	0, 026 (0.67)
pib^3	0, 005*** (0.00)	-0, 002 (0.27)	0, 001** (0.04)	0, 001 (0.24)	0, 004 (0.93)	0, 002*** (0.00)	0, 008 (0.64)
En	-	1, 41* (0.09)	0, 66*** (0.00)	-	0, 32*** (0.00)	0, 25* (0.06)	0, 09** (0.03)
g	-	0, 15** (0.04)	-	-	-	-	-
Ind	-	0, 33* (0.05)	-	-	-	0, 64*** (0.00)	-
$Dens$	0, 33*** (0.00)	-	0, 34* (0.05)	-	-0, 19*** (0.00)	0, 52*** (0.00)	-
TP	6, 57 10 ¹⁸ \$US	-	2, 38 10 ¹² \$US	-	-	4, 09 10 ²⁷ \$US	-
R^2	0, 85	0, 70	0, 87	0, 42	0, 65	0, 74	0, 33
F	19, 65*** (0.00)	12, 64*** (0.00)	35, 94*** (0.00)	4, 84*** (0.00)	8, 79*** (0.00)	37, 94*** (0.00)	31, 23*** (0.00)
Sargan test	10, 67 (0.13)	3, 07 (0.80)	7, 87 (0.21)	6, 22 (0.58)	10, 47 (0.21)	9, 35 (0.43)	9, 69 (0.32)
D-W-H test	7, 49* (0.05)	10, 31** (0.01)	7, 21* (0.07)	9, 82** (0.03)	7, 03* (0.08)	8, 13** (0.04)	6, 68* (0.08)
Pagan hall test	23, 94 (0.12)	2, 58 (0.99)	8, 46 (0.85)	9, 48 (0.66)	3, 31 (0.85)	8, 12 (0.88)	21, 21 (0.17)

Notes : TP = point de retournement

(***), (**) et (*) indiquent la significativité au seuil statistique de 1%, 5% et 10% respectivement. Les p-value sont entre parenthèses.

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

Les résultats de l'estimation de l'EKC dans chaque pays dans le tableau I.6 sont obtenus en relâchant l'hypothèse d'absence d'endogénéité du PIB par tête. Ce qui permet d'éviter un biais de simultanéité. Le lien de causalité entre croissance et environnement pouvant être bidirectionnel dans l'Union. La deuxième partie du tableau des résultats indique que les performances de l'estimation sont plutôt bonnes, le coefficient de détermination est globalement satisfaisant de même que la statistique de Fisher qui est significative au seuil de 1 % dans tous les cas. La validité des instruments est mesurée par le test de Sargan. L'hypothèse nulle de ce test est H_0 : les instruments sont valides. Le choix des instruments peut ne pas être pertinent, il s'agit dans la pratique, selon Goaied & Sassi (2012) de procéder à des changements des instruments à retenir jusqu'à l'obtention de résultats satisfaisants. Selon les résultats du tableau I.6, nous ne pouvons pas rejeter l'hypothèse nulle de validité des instruments. La p-value de la statistique de Sargan est supérieure à 5 % dans tous les cas. Le test Durbin-Wu-Hausman (D-W-H) est équivalent au test de spécification de Hausman. Ici, il permet de vérifier que l'estimateur MCO est convergent (H_0). Dans ce cas l'estimateur IV qui permet de résoudre ce problème d'endogénéité n'est pas justifié. Les p-value du test de D-W-H sont globalement inférieures à 10 %, l'hypothèse nulle est donc rejetée avec un risque d'erreur de 10 %. La présence du problème d'endogénéité est confirmée. L'estimation de l'EKC dans la zone UEMOA par la méthode des variables instrumentales est justifiée. Toutefois, la méthode IV produit des estimateurs convergents, si les erreurs sont homoscédastiques. Sinon, l'estimateur GMM est plus approprié selon Baum et al. (2003). Pagan & Hall (1983) ont proposé un test dont l'hypothèse nulle est que les erreurs sont homoscédastiques. Les résultats de ce test dans le tableau I.5 ne permettent pas de rejeter l'hypothèse nulle. En définitive, l'estimateur IV fournit des estimateurs convergents de l'EKC dans l'UEMOA.

L'estimation pays par pays avec la prise en compte du problème d'endogénéité permet de définir deux types de relation PIB – CO₂ au sein de l'Union. La relation est neutre au Burkina Faso, au Mali, au Niger et au Togo, les coefficients β_1 , β_2 et β_3 ne sont pas significativement non nuls dans ces pays. En revanche, l'EKC est satisfaite au Bénin, en Côte d'Ivoire et au Sénégal. Le coefficient β_1 et le coefficient β_3 sont significativement

positifs et le coefficient β_2 est significativement négatif dans ces pays. Ces trois pays ont les revenus par tête et les émissions de CO₂ les plus élevés dans l'UEMOA. Ces chiffres sont respectivement 1144.97, 2190.22 et 1520.24 pour le Bénin, la Côte d'Ivoire et le Sénégal, comparés à 1161.46 \$US par tête pour la zone et 0.21, 0.50 et 0.44 d'émission moyenne de CO₂ par tête comparés à 0.22 tonne métrique par tête pour la zone. La prise en compte du problème d'endogénéité a permis d'obtenir des coefficients β_1, β_2 et β_3 statistiquement significatifs avec les signes attendus pour que l'EKC soit satisfaite au Bénin, en Côte d'Ivoire et au Sénégal, mais les points de retournement paraissent trop élevés et donc irréalisables, comme dans Bella et al. (2010). Ces derniers ont montré dans leur étude que les résultats de l'estimation de l'EKC dans les pays non membres de l'OCDE entre 1971 et 2006 affichaient des coefficients significatifs avec les signes attendus, mais les points de retournements n'étaient pas accessibles.

Les variables de contrôle, qui n'ont pas un effet significatif sont exclues de l'estimation. Toutefois, elles ont un effet généralement positif sur les émissions de CO₂ quand elles sont significatives sauf pour la densité de la population au Niger et la part du secteur industriel dans le PIB au Sénégal. Comme dans Bella et al. (2010), étant donné l'impossibilité de réaliser les points de retournement, les coefficients β_1 positifs du PIB par tête et les effets globalement positifs des variables de contrôle, nous pouvons supposer que la relation entre le PIB par tête et les émissions de CO₂ est monotone et positive dans l'UEMOA.

Au terme de cette section, nous pouvons établir un tableau de synthèse des résultats de l'estimation de l'EKC dans la zone UEMOA. Ce tableau donne dans sa première colonne les groupes de pays, la colonne deux donne la forme de la relation PIB-CO₂ lorsque le problème d'endogénéité du PIB par tête est ignoré, la colonne trois prend en compte le problème d'endogénéité et la colonne quatre fait des observations.

Le tableau I.7 fait la synthèse des résultats de l'estimation de l'EKC.

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

Tableau I.7 : Synthèse des résultats

	EKC (problème d'endogénéité ignoré)	EKC avec prise en compte du problème d'endogénéité	Observations (variables de contrôle)
<i>UEMOA</i>	« N » inversé TP= Non défini		Energie (+), taux de croissance économique (+), secteur industriel (+) et densité de la population (-)
<i>Bénin</i>	EKC TP=7275331,95 \$US	EKC TP = 6,57x 10 ¹⁸ \$US Non accessible	Densité de la population (-) [point de retournement inaccessible]
<i>Burkina Faso</i>	Neutre	Neutre	Taux de croissance économique (+) et secteur industriel (+)
<i>Côte d'Ivoire</i>	Monotone et négative	EKC TP=2,38x 10 ¹² \$US Non accessible	Energie (+), taux de croissance économique (-) et densité de la population (+)
<i>Mali</i>	Monotone et négative	Neutre	Néant
<i>Niger</i>	Monotone et négative	Neutre	Energie (+), densité de la population (-)
<i>Sénégal</i>	Monotone et négative	EKC TP=4,09x 10 ²⁷ \$US Non accessible	Energie (+), secteur industriel (-) et densité de la population (+)
<i>Togo</i>	Neutre	Neutre	Néant

Notes : les signes (+) et (-) indiquent un effet positif et négatif respectivement

TP = point de retournement

Il ressort en définitive que, dans la zone UEMOA, la détermination de la relation croissance – environnement nécessite la prise en compte des problèmes d'hétérogénéité des pays et d'endogénéité du PIB par tête. En effet, les tests de Fisher et de Durbin-Wu-Hausman ont permis de justifier cela. Il est apparu deux groupes de pays pour lesquels la trajectoire des émissions de CO₂ par rapport au PIB est la même. L'un des groupes, est composé du Bénin, de la Côte d'Ivoire et du Sénégal. L'EKC est satisfaite dans ces pays, mais le point de retournement est inaccessible. Ce résultat indique dans ce cas, en suivant Cole et al. (1997) et Stern & Common (2001), que ces pays sont situés sur la partie croissante de la courbe de Kuznets environnementale. La relation PIB – CO₂ est monotone

et croissance. L'autre groupe est constitué du Burkina Faso, du Mali, du Niger et du Togo. La relation est neutre dans ces pays.

V – CONCLUSION

Comme l'a indiqué Dinda (2004), il est très important pour les autorités responsables des politiques environnementales de comprendre la théorie de l'évolution de la qualité de l'environnement. Ce qui donne une importance particulière à la recherche de la forme de la relation entre le produit et la dégradation de l'environnement. Cette question est traitée depuis très longtemps. Avant les années 1970, l'idée soutenue était que la consommation des ressources naturelles (y compris l'énergie) évoluait au même rythme que la croissance économique. A partir de 1970, les économistes du Club de Rome proposent de limiter la croissance économique pour éviter des problèmes environnementaux futurs. Au début des années 1990, Grossman et Krueger (1991) ont déterminé une relation entre la qualité de l'environnement et le revenu par tête en forme de « U » inversé. C'est l'EKC. Selon cette hypothèse, la dégradation de l'environnement s'accélère d'abord jusqu'à un certain niveau du revenu par tête puis baisse. La littérature s'est par la suite enrichie dans le domaine de l'environnement avec une large confirmation de l'hypothèse EKC. Toutefois, certaines études ont remis en cause l'EKC aussi bien sur le plan théorique, empirique que méthodologique. En effet, la relation revenu – environnement peut prendre plusieurs autres formes et peut avoir diverses explications ⁷.

Avec des données annuelles sur les émissions de CO₂ par tête et le PIB par tête, nous avons estimé l'EKC dans la zone UEMOA dans le cadre d'un panel puis pays par pays. La consommation d'énergie par tête, le taux de croissance économique, la part du secteur industriel dans le PIB et la densité de la population ont été utilisés comme variables de contrôle. Ces variables sont toutes significatives dans le cadre du panel, mais pas toutes significatives pays par pays. Dans le cadre du panel, l'EKC n'existe pas, la relation entre le

7. Voir Dinda (2004)

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

PIB et le CO₂ a plutôt en forme en « N » inversé. Cependant, les coefficients estimés n'ont pas permis de déterminer les points de retournement correspondants. L'estimation pays par pays rejette l'EKC et la forme en « N » inversé pour tous les pays de l'Union sauf pour le Bénin, pour qui l'EKC existe. Le test de Fisher a permis de montrer que la spécification du modèle de l'EKC dans la zone UEMOA est la spécification pays par pays où les coefficients estimés varient d'un pays à l'autre.

Nos résultats vont dans le sens des critiques formulées dans la littérature empirique de l'EKC. Certaines études ont montré que l'EKC est généralement vérifiée dans les pays industrialisés. En revanche, Dasgupta et al. (2002) ont prouvé que dans les pays en voie de développement l'EKC peut exister et présenter des pics d'effets négatifs sur l'environnement moins élevés que les pays développés. En d'autres termes, ils peuvent décrire une relation en forme de « U » inversé plus aplatie. Le choix de la variable environnementale, les émissions de CO₂ par habitant, peut expliquer les résultats obtenus. En effet, l'EKC n'est pas observée de façon générale pour le polluant CO₂ dans la littérature. L'EKC n'est pas aussi observée pour des échantillons hétérogènes.

Une des hypothèses forte de l'EKC, bien que très critiquée, est l'absence supposée de rétroaction, le CO₂ n'influence pas le PIB. En relâchant cette hypothèse, les tests ont montré qu'il existe un biais de simultanéité. En prenant en compte le problème d'endogénéité, les résultats de l'estimation de l'EKC par la méthode des variables instrumentales IV, ont montré qu'il y a deux groupes de pays dans l'UEMOA. Le groupe pour lequel la relation est neutre est constitué des pays à revenu relativement bas dans la zone. Ce sont le Burkina Faso, le Mali, le Niger et le Togo. Le second groupe est constitué des pays dont le revenu par tête est le plus élevé dans la zone. Il s'agit du Bénin, de la Côte d'Ivoire et du Sénégal. L'EKC y est satisfaite. Cependant, les points de retournement ne peuvent être atteints. Ces pays sont donc situés sur la partie ascendante de la courbe de Kuznets environnementale, dans ce cas la relation PIB – CO₂ est positive.

Bien qu'urgente, vu la situation environnementale de la planète, la question de la soutenabilité du développement ne semble pas encore être mise à la tête des priorités dans

les pays en voie de développement. La priorité reste l'éradication de la pauvreté. L'EKC est difficilement ou quasi impossible à observer dans ces pays. En effet, leur revenu par tête est très éloigné des points de retournement supposés pour réaliser le découplage entre la croissance économique et la dégradation de l'environnement.

Notons que nous avons analysé la relation entre le PIB par tête et les émissions de CO₂ par tête dans l'UEMOA, par le modèle proposé par Grossman & Krueger (1991). Selon Cole et al. (2001), ce modèle ramène à l'analyse de la corrélation plutôt qu'au mécanisme de causalité entre le revenu et la pollution. Il est nécessaire d'adopter un modèle plus dynamique. Plusieurs modèles analysent la trajectoire de la pollution dans un cadre plus large de croissance macroéconomique. C'est par exemple le cas de Brock & Taylor (2004), qui ont mis en œuvre le Green Solow Model, dans lequel le produit est destiné à la consommation et aux dépenses de réduction des effets néfastes sur l'environnement. Ils ont montré que l'on peut déterminer ou retrouver la relation croissance – environnement grâce à cette méthode, dont l'EKC dans des cas particuliers. Nous appliquons cette méthode dans l'UEMOA, ce qui fait l'objet du chapitre II.

ANNEXES DU CHAPITRE I

Tableau A1 : Statistiques descriptives pour le Bénin

Variables	Nbre d'obs	Moyenne	Ecart type	CV	Maximum	Minimum
PIB/tête (\$US constant)	41	1144.97	104.71	0.09	1329.95	979.92
CO ₂ /tête(tm/hbt) tm= (Tonne Métrique)	41	0.21	0.12	0.57	0.49	0.07
En/tête (ktep/hbt) (Kt équivalent pétrole)	41	0.10	0.07	0.7	0.32	0.04
Taux de croissance (%)	41	0.59	3.08	5.22	6.95	-7.18
Secteur industriel (%)	41	13.48	1.31	0.09	17.08	11.70
Densité de la population (personnes/Km ²)	41	48.40	17.76	0.36	84.33	25.78

Notes : En = consommation d'énergie, Kt = kilotonne, CV = coefficient de variation

Tableau A2 : Statistiques descriptives pour le Burkina Faso

Variables	Nbre d'obs	Moyenne	Ecart type	CV	Maximum	Minimum
PIB/tête (\$US constant)	41	793.90	183.75	0.23	1204.50	571.33
CO ₂ /tête(tm/hbt) tm= (Tonne Métrique)	41	0.06	0.02	0.33	0.12	0.02
En/tête (ktep/hbt) (Kt équivalent pétrole)	41	0.03	0.01	0.33	0.05	0.01
Taux de croissance (%)	41	1.85	3.19	1.17	7.98	-4.26
Secteur industriel (%)	41	21.59	2.76	0.12	28.08	15.55
Densité de la population (personnes/Km ²)	41	34.40	10.85	0.31	56.79	20.55

Notes : En = consommation d'énergie, Kt = kilotonne, CV = coefficient de variation

Tableau A3 : Statistiques descriptives pour la Côte d'Ivoire

Variables	Nbre d'obs	Moyenne	Ecart type	CV	Maximum	Minimum
PIB/tête (\$US constant)	41	2190.22	464.89	0.21	3252.48	1711
CO ₂ /tête(tm/hbt) tm= (Tonne Métrique)	41	0.50	0.12	0.24	0.78	0.31
En/tête (ktep/hbt) (Kt équivalent pétrole)	41	0.24	0.04	0.16	0.33	0.17
Taux de croissance (%)	41	-0.67	4.12	6.14	7.85	-14.76
Secteur industriel (%)	41	21.39	3.07	0.14	26.86	15.15
Densité de la population (personnes/Km ²)	41	38.10	13.64	0.35	59.67	16.48

Notes : En = consommation d'énergie, Kt = kilotonne, CV = coefficient de variation

Tableau A4 : Statistiques descriptives pour le Mali

Variables	Nbre d'obs	Moyenne	Ecart type	CV	Maximum	Minimum
PIB/tête (\$US constant)	41	799.15	134.00	0.16	1095.12	512.16
CO ₂ /tête(tm/hbt) tm= (Tonne Métrique)	41	0.04	0.005	0.12	0.06	0.03
En/tête (ktep/hbt) (Kt équivalent pétrole)	41	0.04	0.05	1.25	0.24	0.002
Taux de croissance (%)	41	1.54	5.05	3.27	11.78	-12.84
Secteur industriel (%)	41	16.86	4.63	0.27	27.54	9.86
Densité de la population (personnes/Km ²)	41	7.11	1.95	0.27	11.46	4.68

Notes : En = consommation d'énergie, Kt = kilotonne, CV = coefficient de variation

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

Tableau A5 : Statistiques descriptives pour le Niger

Variables	Nbre d'obs	Moyenne	Ecart type	CV	Maximum	Minimum
PIB/tête (\$US constant)	41	749.34	158.43	0.21	1150.29	158.39
CO ₂ /tête(tm/hbt) tm= (Tonne Métrique)	41	0.09	0.03	0.33	0.15	0.04
En/tête (ktep/hbt) (Kt équivalent pétrole)	41	0.04	0.01	0.25	0.06	0.01
Taux de croissance (%)	41	-1.12	5.94	5.30	10.32	-19.31
Secteur industriel (%)	41	15.94	3.94	0.24	22.94	6.94
Densité de la population (personnes/Km ²)	41	6.80	2.74	0.40	12.54	3.48

Notes : En = consommation d'énergie, Kt = kilotonne, CV = coefficient de variation

Tableau A6 : Statistiques descriptives pour le Sénégal

Variables	Nbre d'obs	Moyenne	Ecart type	CV	Maximum	Minimum
PIB/tête (\$US constant)	41	1520.24	101.00	0.06	1697.76	1330.91
CO ₂ /tête(tm/hbt) tm= (Tonne Métrique)	41	0.44	0.07	0.15	0.61	0.31
En/tête (ktep/hbt) (Kt équivalent pétrole)	41	0.19	0.05	0.26	0.28	0.09
Taux de croissance (%)	41	0.21	3.60	17.14	6.07	-8.44
Secteur industriel (%)	41	21.39	3.04	0.14	25.46	12.32
Densité de la population (personnes/Km ²)	41	40.83	13.51	0.33	67.26	21.90

Notes : En = consommation d'énergie, Kt = kilotonne, CV = coefficient de variation

Tableau A7 : Statistiques descriptives pour le Togo

Variables	Nbre d'obs	Moyenne	Ecart type	CV	Maximum	Minimum
PIB/tête (\$US constant)	41	932.36	95.29	0.10	1170.75	701.43
CO ₂ /tête(tm/hbt) tm= (Tonne Métrique)	41	0.22	0.06	0.27	0.53	0.13
En/tête (ktep/hbt) (Kt équivalent pétrole)	41	0.11	0.02	0.18	0.16	0.06
Taux de croissance (%)	41	-0.21	5.72	27.23	12.25	-17.11
Secteur industriel (%)	41	20.87	3.31	0.15	33.13	15.98
Densité de la population (personnes/Km ²)	41	71.47	23.22	0.32	115.94	38.89

Notes : En = consommation d'énergie, Kt = kilotonne, CV = coefficient de variation

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

Tableau B : Résumé ^a d'études empiriques sur l'EKC (PIB – Environnement)

Auteurs	Echantillon	Période	Variables environnementales	Méthodologie	Forme de la relation
Grossman & Krueger (1992)	14-32 pays	1977, 1982, 1988	SO ₂	MCG	Courbe en « N »
Panayotou (1993)	30 pays	1982-1994	SO ₂ , NO _x , déforestation	MCO	« U » inversé
Shafik (1994)	149 pays	1960-1990	CO ₂ , SO ₂ , NO _x , SPM, ...	MCO	Linéaire positive, « U » inversé
Grossman & Krueger (1994)	30 pays	1977, 1982, 1988	SO ₂	MCG	« U » inversé
Selden & song (1994)	30 pays (Sud, Nord & intermédiaires)	1973-1975 1979-1981 1982-1984	SO ₂ , NO _x , CO et SPM	MCO Within MCG	« U » inversé
Holtz-Eakin & selden (1995)	130 pays	1951-1986	CO ₂	Within	« U » inversé, TP inaccessible
De Bruyn et al. (1998)	4 pays de l'OCDE	1961-1990	CO ₂ SO ₂ NO _x	MCO, estimation pays par pays	Linéaire positive
Kaufman et al. (1998)	23 pays (Sud & Nord)	1974-1989	SO ₂	MCO Effets fixes Effets aléat.	« U »
Schmalensee et al. (1998)	141 pays	1950-1990	CO ₂		« U » inversé
Torras & Boyce (1998)	18-52 régions de 19-42 pays	1977-1991	SO ₂	MCO	Courbe en « N »

PARTIE 1 : CROISSANCE ET ENVIRONNEMENT DANS LA ZONE UEMOA

Auteurs	Echantillon	Période	Variables environnementales	Méthodologie	Forme de la relation
List & Gallet (1999)	48 Etats des USA	1929-1994	SO ₂	MCG	« U » et « N » inversés
Taskin & Zaim (2000)	52 pays	1975-1990	CO ₂	Non paramétrique	« U » inversé
Dinda et al. (2000)	39 régions de 33 pays	1979-1982 1983-1986 1987-1990	SO ₂	MCO	Forme en « U »
Heerink et al. (2001)	33 pays	1960-1990	SO ₂	MCO	« U » inversé
Hill & Magnani (2002)	156 pays	1970 1980 1990	CO ₂		« U » inversé, TP inaccessible
Halos (2003)	73 pays OCDE et non OCDE	1960-1990	SO ₂	GMM et MCG	« U » inversé avec GMM et non avec MCG
Friedl & Getzner (2003)	Australie	1960-1999	CO ₂		Forme en « N »
Cole (2004)	18 pays de l'OCDE	1980-1997	SO ₂	Within	« U » inversé
Martinez-Zarzoso & Bengochea-Morancho (2004)	22 pays de l'OCDE	1975-1998	CO ₂	MCG	Forme en « N » pour la majorité des pays
Bertinelli & Strobl	122 pays	1950-1990	CO ₂	Non	Linéaire

CHAPITRE I. Croissance-environnement : la relation de Kuznets

(2005)				paramétrique	positive
Auteurs	Echantillon	Période	Variables environnementales	Méthodologie	Forme de la relation
Dijkgraaf & Vollebergh (2005)	24 pays de l'OCDE	1960-1997	CO ₂		« U » inversé dans 11 pays
Azomahou et al. (2006)	100 pays	1960-1996	CO ₂	Non paramétrique	Linéaire positive
Lantz & Feng (2006)	5 régions du Canada	1970-2000	CO ₂	MCO	Neutre
Aslanidis & Iranzo (2009)	77 pays (non OCDE)	1971-1997	CO ₂		Linéaire positive
Galeotti et al. (2009)	24 pays de l'OCDE	1960-2002	CO ₂	Tests de stationnarité et de cointégration	« U » inversé dans 5 pays

^a Résumé non exhaustif.

PARTIE 1 : CROISSANCE ET ENVIRONNEMENT DANS LA ZONE UEMOA

Tableau C : Résultats de l'EKC pays par pays

	Bénin	Burkina	CI	Mali	Niger	Sénégal	Togo
α	48,35*** (0.00)	168,42*** (0.00)	1808,53* (0.08)	260,09*** (0.00)	222,05*** (0.00)	2477,50*** (0.00)	-809,15*** (0.00)
pib	3,62** (0.01)	0,21 (0.86)	-14,04 (0.10)	-1,61*** (0.00)	-1,56*** (0.00)	-20,28*** (0.00)	9,40 (0.24)
pib^2	-2,02*** (0.00)	-0,006 (0.28)	0,02 (0.11)	0,01*** (0.00)	0,008*** (0.00)	0,04*** (0.00)	0,02 (0.25)
pib^3	0,03 (0.36)	0,02 (0.66)	0,004 (0.71)	0,07 (0.13)	-0,06 (0.34)	-0,007 (0.68)	0,03 (0.49)
En	-0,03 (0.82)	0,28 (0.21)	0,53*** (0.00)	-0,04 (0.10)	0,29*** (0.00)	0,25** (0.03)	0,40 (0.11)
g	-0,02 (0.45)	0,07** (0.03)	-0,06* (0.08)	0,03 (0.10)	0,03 (0.38)	0,004 (0.91)	0,008 (0.86)
Ind	-0,09 (0.43)	0,11 ** (0.03)	-0,006 (0.95)	0,02 (0.53)	-0,05 (0.25)	-0,53*** (0.00)	0,05 (0.46)
$Dens$	-0,32*** (0.00)	0,41 (0.17)	0,26* (0.05)	0,01 (0.70)	-0,18*** (0.00)	0,45*** (0.00)	-0,04 (0.29)
TP	1.79\$US	nd	nd	nd	nd	nd	nd
R^2	0,89	0,84	0,66	0,48	0,58	0,43	0,04
F	47,38*** (0.00)	33,21*** (0.00)	14,46*** (0.00)	6,48*** (0.00)	9,16*** (0.00)	6,18*** (0.00)	0,80 (0.52)

Notes : TP = point de retournement et nd = non défini.

(***), (**) et (*) indiquent la significativité au seuil statistique de 1%, 5% et 10% respectivement. Les p-value sont entre parenthèses.

CHAPITRE II :

CROISSANCE - ENVIRONNEMENT:
CONVERGENCE DU PIB PAR TETE ET
DES EMISSIONS DE CO₂ PAR TETE

I – INTRODUCTION

L'EKC entre croissance et environnement analysée dans le chapitre précédent est une relation ad-hoc statique. Pour approfondir l'analyse, nous nous appuyons sur le modèle de croissance. Analyser la relation entre le PIB et l'environnement, au sein d'un ensemble d'économies, dans un cadre général de croissance économique peut ramener à la notion de convergence. Cette dernière a longtemps et fréquemment été utilisée dans l'analyse économique principalement dans les domaines du développement et de l'intégration économique. Elle l'est aussi bien au niveau national entre régions d'un même pays comme les Etats Unis par exemple (entre Etats), qu'au niveau régional entre pays comme l'UE (Union Européenne) ou l'UEMOA (Union Economique et Monétaire Ouest Africaine). Les traités de convergence à travers le monde ont imposé, de façon générale, des conditions de convergence sur le revenu réel, sur les taux d'inflation, les taux d'intérêt, le déficit public, la dette publique et aussi du niveau de vie ou de productivité entre pays, des prix entre marchés.

Depuis plus d'un demi-siècle la question de l'environnement, du moins de la préservation ou du frein du déclin de la qualité de l'environnement est devenue cruciale. Cette question préoccupe les scientifiques ou spécialistes de l'environnement, les politiques et de plus en plus l'opinion internationale. En effet, avant les années 1970 jusqu'à ce jour, les études théoriques et empiriques se sont multipliées de même que les sommets internationaux sur l'environnement. Une des raisons principales est que la qualité de l'environnement est liée au bien être des individus. Grossman & Krueger (1991) ont analysé la relation entre le revenu réel et la qualité de l'environnement à travers la célèbre courbe de Kuznets environnementale (EKC). De leur côté, Brock & Taylor (2004) ont étudié la relation entre le revenu et la pollution dans un cadre générale de croissance. Ils s'appuient sur Kuznets (1955) et le modèle de croissance de Solow (1956) pour étudier la convergence des niveaux des émissions de polluants dans 173 pays.

L'objectif de ce chapitre est de traiter la question de la relation entre le produit et les émissions de CO₂ à travers celle de la convergence dans la zone UEMOA. Nous nous

intéressons spécifiquement à la convergence du revenu réel et celle des émissions de CO₂ par habitant à travers le modèle de croissance de Solow (1956) avec une prise en compte de la dimension spatiale. Y a-t-il convergence du PIB et convergence du CO₂ dans l'UEMOA ? En d'autres termes, le rattrapage des revenus par tête dans l'Union est-elle accompagné par celui des émissions de CO₂ par tête ? Si c'est le cas, il est possible que l'EKC existe dans des conditions particulières, selon Brock & Taylor (2004).

La prise en compte de la dimension spatiale paraît légitime pour l'analyse de la convergence dans l'UEMOA. En effet, la réorientation des objectifs de l'Union en 1994 a visé à renforcer l'intégration en favorisant la coordination des actions dans tous les domaines. Il est donc possible que les phénomènes économiques et environnementaux soient spatialement autocorrélés dans l'Union. Nous considérons que la prise en compte de l'autocorrélation et de l'hétérogénéité spatiale constitue une voie alternative pour améliorer le modèle de convergence, Le Gallo (2004).

Les résultats de l'estimation montrent que le coefficient de convergence conditionnelle du revenu réel est significatif et la vitesse de convergence est 0.8% par an. La prise en compte de la dimension spatiale a fait passer la vitesse de convergence à 1.85% par an. Il y a un rattrapage du revenu par tête dans l'Union. En revanche, il n'y a pas de convergence des émissions de CO₂ dans la zone UEMOA ; car selon nos résultats d'estimation, le coefficient de convergence conditionnelle des émissions de CO₂ n'est pas significativement négatif.

La suite du chapitre est structurée comme il suit. La section II présente le cadre d'analyse, le Green Solow Model et le concept de convergence. La section III fait une revue de littérature. La section IV estime la vitesse de convergence du revenu par tête d'une part, la vitesse de convergence des émissions de CO₂ par tête d'autre part, dans l'UEMOA en prenant en compte les effets spatiaux. La section V conclut le chapitre.

II – CROISSANCE ET ENVIRONNEMENT : UN CADRE D'ANALYSE BASE SUR LE PROCESSUS DE CONVERGENCE

La question de l'environnement est posée depuis longtemps. Son lien avec l'activité économique est un débat qui est aussi de longue date, avant 1970. Il s'est surtout renforcé à partir des années 1990 à travers les études empiriques de plus en plus nombreuses et la multiplication des sommets internationaux. L'analyse de la relation PIB – environnement a surtout été faite autour de la courbe de Kuznets environnementale, introduite par Grossman et Krueger (1991). La relation entre croissance et environnement est supposée avoir une forme de « U » inversé. L'amélioration de la qualité de l'environnement dans une économie est réalisée qu'au delà d'un certain seuil de revenu par tête. Toutefois, le modèle proposé par Grossman et Krueger (1991), prévoit d'autres formes de la relation. Les études empiriques sur la relation entre croissance et environnement dans le cadre de la courbe de Kuznets environnementale sont légions depuis 1990. Cette littérature empirique est marquée par le manque de consensus et de larges contradictions, ce qui a animé les critiques. Ces critiques sont aussi bien théoriques que méthodologiques, (voir Dinda, 2004). Nous avons analysé la relation croissance – environnement dans la zone UEMOA à travers la courbe de Kuznets environnementale en tenant compte de certaines critiques formulées à l'encontre du modèle. Nous avons en effet, tenu compte de l'endogénéité du PIB par tête en estimant le modèle par la méthode des variables instrumentales, de l'omission de variables en y incluant des variables de contrôle, du degré d'hétérogénéité de l'Union en prenant en compte les spécificités des pays, Toutefois, ce modèle ne nous a pas permis de déterminer nettement la forme de la relation entre le PIB et le CO₂ et de la prédire convenablement dans l'UEMOA. Des insuffisances persistent. Selon Cole et al. (2001), le modèle de la courbe de Kuznets environnementale proposé par Grossman et Krueger (1991), ramène à l'analyse de la corrélation plutôt qu'au mécanisme de causalité entre le PIB et l'environnement. Cette méthode est statique. Compte tenu de la perpétuelle mutation des économies de façon générale, il serait plus approprié et plus adapté d'analyser la relation PIB – CO₂ dans le cadre d'un modèle plus dynamique.

Certains ont proposé de le faire dans un cadre général de croissance économique qui ramène à la notion de convergence, comme Brock & Taylor (2004), qui ont mis en œuvre le Green Solow Model dans lequel le produit est destiné à la consommation et aux dépenses de réduction de la pression environnementale. Dans ce modèle, l'on peut déterminer la trajectoire d'une variable environnementale, où l'occurrence de la courbe de Kuznets environnementale a lieu dans des situations particulières. Dans cette section, nous revenons sur le concept de convergence et le Green Solow Modèle de Brock & Taylor (2004).

II – 1 – Fondements théoriques de la convergence : le modèle de Solow (1956) comme cadre de référence

Une question fondamentale souvent posée dans la littérature économique est de savoir si les économies convergent vers les mêmes niveaux de revenu par tête, de production par tête et plus récemment, vers les mêmes niveaux d'émissions de polluants par tête. En d'autres termes, selon (Baumol, 1986 ; Barro et Sala-i-Martin, 1991, 1992), y a-t-il un mécanisme de rattrapage qui permette à une économie de rejoindre le niveau de revenu par tête d'une autre économie plus développée ? Les mutations institutionnelles que connaît le monde à travers des processus d'intégration, matérialisés par les formations ou les modifications d'unions économiques, monétaires et budgétaires, donnent à cette préoccupation une importance particulière et justifient son actualité. L'idée de rattrapage, prédite par le modèle de Solow (1956), suppose que la coopération entre les pays dans le cadre des intégrations régionales permettrait aux pays ayant les niveaux de revenu par tête plus faibles, d'atteindre ceux des pays ayant des niveaux plus élevés. Cette même idée de rattrapage est prédite par le Green Solow model (GSM) développée par Brock & Taylor (2004) pour les émissions de polluants par tête, sous certaines conditions.

Le concept de convergence est dérivé des propriétés clefs du modèle néo-classique de croissance de Solow (1956). Il existe dans la littérature deux principaux indicateurs de la convergence : la β -convergence et la σ -convergence. Employé par Baumol (1986) puis

Barro (1991) et Barro & Sala-i-Martin (1991 et 1992), le premier indicateur, la β -convergence permet de décrire le fait que la dynamique de croissance d'un ensemble d'économies réduit les différences entre les uns et les autres. Il y a donc convergence si le coefficient de l'équation de convergence est significativement négatif, ce qui suppose que les économies pauvres évoluent plus vite que les économies plus riches. La convergence indique qu'il existe une relation inverse entre le taux de croissance par tête et le PIB par tête initial. Le second indicateur concerne la distribution de la variable revenu par tête, c'est la σ -convergence. Introduite par Barro & Sala-i-Martin (1991) la σ -convergence, mesurée par l'écart type ou le coefficient de déviation indique, si elle existe, que la variance du revenu par tête tend à baisser dans le temps. Selon Quah (1993), la β -convergence est nécessaire, mais elle n'est pas suffisante pour indiquer que des entités convergent. Toutefois les deux formes de convergence sont complémentaires. Nous décrivons de façon explicite les indicateurs de la convergence, mais avant nous revenons sur la source du concept de convergence.

La source de la théorie de la convergence est le modèle de croissance néoclassique de Solow (1956) et Swan (1956). Supposons une fonction de production de type Cobb-Douglas :

$$Y(t) = K(t)^\alpha [A(t)L(t)]^{1-\alpha} \quad (1)$$

Où $Y(t)$, $K(t)$, $A(t)$ et $L(t)$ désignent respectivement la production, le capital, le niveau de technologie et le travail. Les paramètres α et $(1-\alpha)$ représentent les élasticités de production du capital et du travail. Supposons que les facteurs de production sont rémunérés à leurs coûts marginaux sur les marchés et que les taux de croissance, exogènes, du travail et de la technologie sont respectivement n , différents d'un pays à l'autre de façon générale, et g constant pour tous les pays. L'accumulation du capital est décrite comme il suit :

$$\dot{k}(t) = sY(t) - \delta K \quad (2)$$

Où s et δ sont le taux d'épargne et le taux de dépréciation du capital physique. En considérant que $y = Y/L$ et sous forme logarithmique, nous pouvons spécifier la

convergence standard par une approximation en série de Taylor autour de l'état stationnaire de la façon suivante :

$$\ln(y_t) = (1 - e^{-\vartheta\tau}) \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(s) - (1 - e^{-\vartheta\tau}) \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln(n + g + \delta) - (1 - e^{-\vartheta\tau}) \ln(y_{t-\tau}) + (1 - e^{-\vartheta\tau}) A_0 + g(t - e^{-\vartheta\tau}(t - \tau)) \quad (3)$$

Où τ est la période de temps considérée, et ϑ est la vitesse de convergence. En posant que $\beta = (1 - e^{-\vartheta\tau})$ et que $\varphi = \frac{\alpha}{1-\alpha}(1 - e^{-\vartheta\tau})$, la réécriture de l'équation (3) permet d'aboutir au modèle empirique (4), étendue au cas des panels par Islam (1995) :

$$\ln(y_{it}) = \beta_0 + (\beta + 1) \ln(y_{i,t-1}) + \gamma \ln(x_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

Où x_{it} est un vecteur de régresseurs.

II – 1 – 1 – La sigma convergence (σ -convergence)

La σ -convergence peut être mesurée par l'écart type, Carlino & Mills (1996) ou le coefficient de déviation, Bernard & Jones (1996) et elle est définie par Baro & Sala-i-Martin (1995) comme la mesure du niveau de dispersion du revenu par tête. La sigma convergence (σ -convergence) existe s'il y a une baisse de la dispersion du revenu par tête dans le temps. Elle stipule que la dispersion du revenu par tête entre les pays s'amenuise dans le temps. Les théories traditionnelles de la croissance, Solow (1956) prévoient un rattrapage des pays riches par les pays pauvres dans le long terme. Et Barro (1991) estime la vitesse de convergence entre 2% et 3% par an. Cette hypothèse est par contre peu vérifiée empiriquement, surtout dans les pays du Sud.

II – 1 – 2 – La bêta convergence (β -convergence)

La β -convergence mesure la vitesse de convergence. Celle-ci existe lorsqu'au sein d'un ensemble de pays, le revenu par tête d'un pays plus pauvre tend à croître plus vite que celui d'un pays plus riche, par conséquent dans le long terme le pays relativement pauvre tendra à rattraper le pays relativement riche. La β -convergence peut être absolue (inconditionnelle) ou conditionnelle.

La bêta-convergence absolue suppose que les pays ou les régions soient convergentes vers le même niveau d'équilibre et elle existe lorsque le niveau initial du revenu par tête est négativement corrélé avec le taux de croissance moyen de la période. Elle est fondée sur le modèle néo-classique de la croissance, Solow (1956) et Swan (1956) ; par conséquent elle est basée sur les hypothèses de rendements d'échelles constants dans la fonction de production et de rendements décroissants dans les facteurs de production.

La bêta-convergence conditionnelle est aussi fondée sur la théorie de la croissance de Solow (1956) et Swan (1956). Ici l'on prend en compte un vecteur de variables supposées influencer l'état stationnaire de toute économie i . Ces variables peuvent être le stock de capital physique, le stock de capital humain, les investissements directs étrangers, la technologie La β -convergence conditionnelle existe lorsque le niveau initial du revenu par tête est négativement corrélé avec le taux de croissance moyen de la période considérée et que toutes les variables d'état pour toutes les économies i soient identiques. Les économies convergent vers le même état d'équilibre si elles ont des conditions initiales identiques. Si les économies ont des conditions initiales distinctes alors chacune d'elles tend vers son propre et unique état d'équilibre stable.

II – 1 – 3 – Les clubs de convergence

En cas de convergence absolue, il y a un seul niveau d'équilibre vers lequel toutes les économies tendent. La convergence conditionnelle stipule que la croissance de long terme dépend des conditions initiales ou des dotations initiales de toute économie. Le

concept de club de convergence est fondé sur les modèles de croissance endogène, caractérisés par la possibilité d'existence de multiples états d'équilibre stable. Des économies ayant des conditions initiales proches convergent à terme les unes vers les autres, leurs états d'équilibre stable étant tout aussi proches. Chaque ensemble d'économies convergentes constituent ainsi un club de convergence.

Notons que le processus de convergence ; absolue ou conditionnelle ; ou de divergence jusque-là décrit ; qui est basé sur la théorie néo-classique de la croissance et la théorie de la croissance endogène n'impose aucune interaction entre les économies considérées. Pendant longtemps l'hypothèse de convergence a été analysée sans tenir compte de la proximité géographique et des interactions économiques. Le risque de ne pas prendre en compte la dimension spatiale ou les interactions dans l'analyse de la convergence, est la production de résultats biaisés et des conclusions erronées, Fingleton & Lopez-Bazo (2006). L'hypothèse selon laquelle les économies sont fondamentalement fermées, dans la théorie néo-classique de croissance dans le cadre de laquelle la convergence est étudiée semble très forte. Elle l'est d'autant plus dans le cas d'une étude de la convergence entre les régions d'un pays, ou entre les pays d'une union économique. Dans ces derniers cas, les barrières commerciales et la mobilité des facteurs de production sont supposées levées. L'absence de convergence absolue et la présence de club de convergence, dues à la disparité des conditions initiales des économies considérées, peuvent être résolues par l'ouverture et la mobilité des facteurs de production. C'est à juste titre que la nouvelle théorie du commerce et l'économie géographique mettent l'accent sur le rôle de l'agglomération et les économies d'échelle en vue de la soutenabilité de la divergence entre économies, Fujita et al. (1999). L'ouverture et la mobilité sont relativement mieux développées dans les cas de proximité géographique.

Le développement de l'économétrie spatiale a donné les moyens de capter empiriquement la présence des effets spatiaux lors de l'analyse de la convergence. Ces effets ou schémas spatiaux peuvent être de l'autocorrélation spatiale ou de l'hétérogénéité spatiale. L'autocorrélation spatiale décrit la transmission des conditions économiques dans l'espace. En d'autres termes l'ouverture et la mobilité dans un espace permettraient de

réduire les disparités en dotations initiales entre les entités géographiques concernées (à proximité). L'hétérogénéité spatiale renvoie à l'évolution ou les mutations économiques dans un espace géographique.

II – 2 – Le « Green Solow Model » (GSM)

Nous présentons le Green Solow Model tel qu'il a été formulé théoriquement par Brock et Taylor (2004). Ce modèle vise à expliquer l'EKC par le modèle de Solow. Il est une simple spécification basée sur le modèle moderne de Solow où le progrès technique induit de la croissance et un environnement de qualité. Le modèle théorique de base de l'EKC proposé par Grossman et Krueger (1991) introduit des rendements croissants et des effets de seuil dans la réduction des émissions de polluants. Il introduit également des changements de politiques induits par le revenu et les mutations vers une économie de service. Selon la théorie de l'EKC, ces éléments expliquent la forme de la relation entre les émissions de polluant et le revenu. Le GSM remet en cause ces explications et son apport peut se résumer en trois points, le premier est une explication théorique de l'EKC et des caractéristiques de la baisse en volume et en intensité des émissions de polluants. La deuxième contribution de Brock et Taylor (2004) à travers le GSM est sa simplicité du fait qu'il est une variante du modèle simple de Solow fondée sur l'hypothèse de rendements décroissants dans le capital et la technologie de réduction des émissions. Enfin le GSM fournit une équation de convergence des émissions de polluants qui peut être estimée.

Brock et Taylor se sont appuyés sur des faits stylisés aux Etats Unis qui contredisent les explications fournies par la théorie de l'EKC pour justifier la forme de la relation entre la pollution et le revenu. Les émissions par unité de PIB aux Etats Unis ont commencé à baisser depuis longtemps et bien avant que les émissions totales ne suivent. Les coûts de la baisse des émissions par unité de PIB sont restés relativement constants. Pour eux le modèle de croissance de Solow, en incorporant les émissions de polluants et la technologie de réduction de ces émissions peut expliquer l'EKC.

Le point de départ est une fonction de production concave à rendements d'échelles constants du type Cobb Douglas. Le processus de production de l'économie génère de la pollution (E) selon l'équation (5) :

$$E = \Omega F(K, BL) \quad (5)$$

F est la taille de l'économie et Ω les techniques de production. Le taux de croissance des émissions de polluants est :

$$\frac{\dot{E}}{E} = \frac{\dot{\Omega}}{\Omega} + \frac{\dot{F}}{F} \quad (6)$$

L'économie F croît au taux $\frac{\dot{F}}{F} = (n + g + \delta)$ et supposons que l'économie crée un secteur de dépollution influencé par les techniques de production dont le taux de croissance est $\frac{\dot{\Omega}}{\Omega} = -g_A$. Dans ce cas, l'équation (6) peut se récrire comme il suit :

$$\frac{\dot{E}}{E} = g_E = n + g + \delta - g_A$$

Pour la suite, nous considérons deux situations dans lesquelles l'économie peut se trouver, l'état stationnaire ou une dynamique transitionnelle.

- Lorsque l'économie est à l'état régulier, elle croît au taux $(n + g)$. Le capital par tête converge vers son état d'équilibre et le taux de croissance des émissions de polluants devient :

$$g_E = g + n - g_A \quad (7)$$

Il est la différence entre l'effet d'échelle $(g + n)$ et l'effet technique (g_A) . Il peut être positif, nul ou négatif et les conditions pour une croissance soutenable ($g_E > 0$) sont :

$$g > 0 \quad \text{et} \quad g_A > g + n$$

- Lorsque l'économie est dans une dynamique transitionnelle, donc hors de l'état régulier, l'économie évolue selon Mankiw et al. (1992) et Barro (1991) de la façon suivante :

$$\ln\left(\frac{y_t}{y_{t-1}}\right) = b + (1 - e^{-\theta}) \ln(y_{t-1}) \quad (8)$$

Où $\vartheta = [1 - \alpha][n + g + \delta]$ est la vitesse de convergence. A partir de l'équation (8), nous pouvons écrire que $y_{t-1} = e_{t-1}/\Omega_{t-1}$. En posant que $e = E/BL$ et en substituant le taux de croissance de l'économie et y_{t-1} par leurs expressions l'évolution des émissions de polluants peut être exprimée par une équation estimable de la forme :

$$\ln\left(\frac{e_t}{e_{t-1}}\right) = \beta_0 + \beta \ln(e_{t-1}) + \varepsilon_t \quad (9)$$

Où $\beta = (1 - e^{-\vartheta})$ En réécrivant (9) sous forme panel, nous retrouvons l'équation de convergence du revenu par tête (10) en y intégrant un vecteur de variables de contrôle X , où le revenu par tête est remplacé par les émissions de polluant par tête. A partir de (9) l'on analyse la convergence des émissions de polluant, où β est le coefficient de convergence.

$$\ln[e_{it}] = \beta_0 + (1 + \beta)\ln(e_{it-1}) + \varphi \ln(X_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

Si $\varphi = 0$, β est le coefficient de convergence absolue, sinon il est le coefficient de convergence conditionnelle.

Brock & Taylor (2004) montre que le GSM donne une explication théorique de la courbe de Kuznets environnementale (EKC). Dans ce qui suit, nous présentons le lien entre le GSM et l'EKC.

II – 3 – “Le Green Solow Model” et la Courbe de Kuznets Environnementale (GSM – EKC)

Le Green Solow Model permet de tracer l'EKC, selon Brock & Taylor (2004). Pour cela, considérons que les émissions de CO₂ et le capital évoluent selon les équations (11) et (12) :

$$\frac{\dot{E}}{E} = g + \alpha \frac{\dot{k}}{k} \quad (11)$$

$$\frac{\dot{k}}{k} = sk^{\alpha-1}(1 - \theta) - (\delta + n + g) \quad (12)$$

Ces deux équations permettent de faire le lien entre la dynamique de l'accumulation du capital et l'évolution de la pollution. Trois différents cas peuvent se présenter:

1 - si $g_E < 0$, situation de croissance soutenable, et $k(0) < k(T)$, alors les émissions vont d'abord croître puis baisser de façon continue ;

2 - si $g_E < 0$, situation de croissance soutenable et $k(0) > k(T)$, alors les émissions baissent de façon continue ;

3 - si $g_E > 0$, alors les émissions vont croître de façon continue mais à un taux décroissant.

De ces diverses situations, nous pouvons déduire que :

- Le cas 1 correspond à l'EKC
- Un ensemble d'économies identiques, qui présentent des conditions initiales distinctes, produiront des formes de relation entre le revenu par tête et les émissions par habitant différentes. L'ensemble n'aura pas un unique pick d'émission de polluants et le revenu par tête correspond. Ceci est une limite de la théorie de l'EKC dans un cas de données en coupe transversale.

Le Green Solow Model se définit de façon synthétique par le système d'équations suivant :

$$\begin{cases} y = f(k)[1 - \theta] \\ \dot{k} = sf(k)[1 - \theta] - [\delta + n + g]k \\ e = f(k)\Omega a(\theta) \end{cases}$$

Où θ est l'investissement dans le secteur de dépollution. Ce modèle aussi simple qu'il soit peut expliquer la relation entre le niveau de revenu et la qualité de l'environnement, l'EKC parmi d'autres formes de relations, bien que le GSM ne contienne ni effets de composition, ni effets de politique économique et contraintes de relations intergénérationnelles à résoudre. Il se fonde essentiellement sur l'accumulation du capital et montre qu'une politique environnementale en soi n'est pas une condition sine qua none pour réaliser l'EKC.

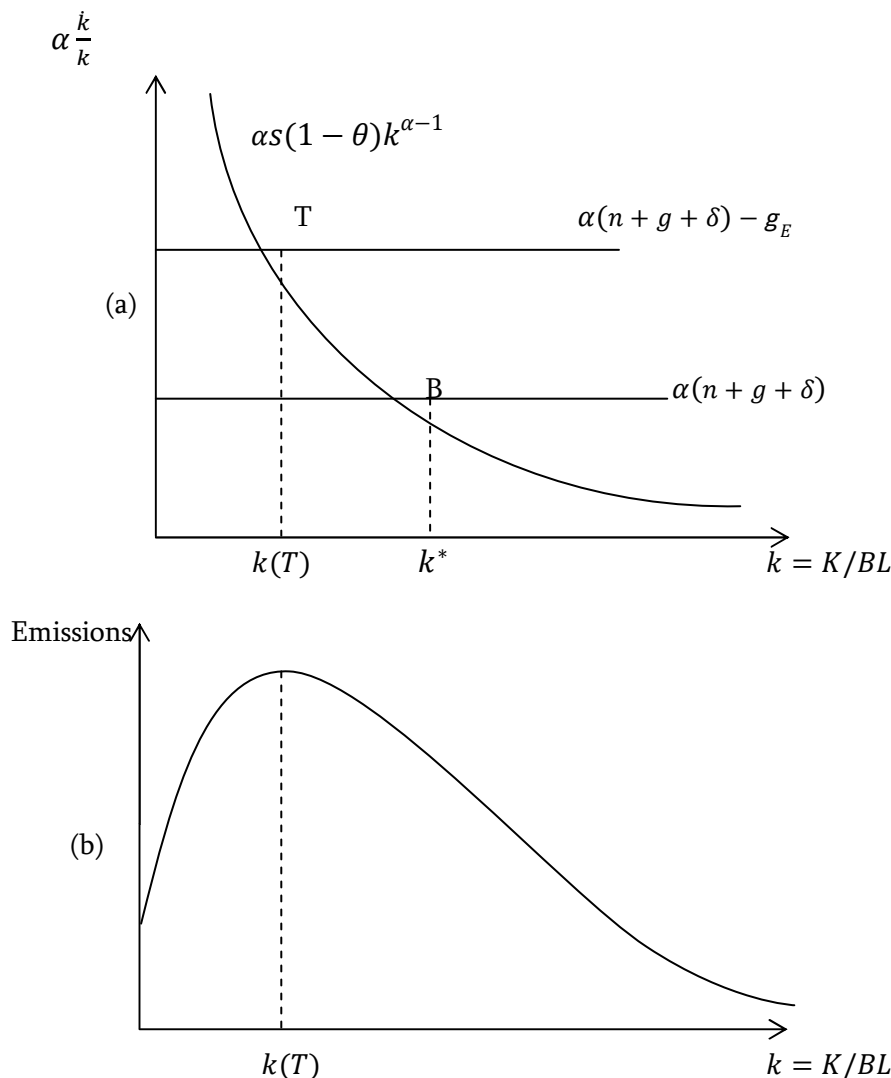
En considérant les équations (11) et (12) qui décrivent les dynamiques d'évolution de la pollution et de l'accumulation du capital, nous pouvons produire une représentation de la relation entre les émissions de polluant par habitant et le revenu par tête.

Le graphique II.1 ci-après, sous l'hypothèse de croissance soutenable ($g_E < 0$), présente un double schéma. La première partie plus haute, le schéma (a), trace le taux de variation de l'accumulation du capital en fonction du capital effectif. La seconde partie, le schéma (b), déduit du premier, trace la courbe des émissions de CO₂ en fonction du capital effectif. Le schéma (a) est obtenu à partir de l'équation (12). Il décrit une relation négative entre le taux de croissance du capital par tête et son niveau. L'écart entre la courbe d'équation $\alpha s k^{\alpha-1}(1-\theta)$ et la droite horizontale d'équation $\alpha(\delta + n + g)$ (la distance verticale) est α fois le taux de croissance du capital effectif. On obtient le point d'intersection B lorsque $s k^{\alpha-1}(1-\theta) = (\delta + n + g)$, et le niveau de capital effectif correspondant $k(B) = k^*$. C'est le capital effectif d'équilibre. Sur la courbe, à gauche du point d'intersection B, tout déplacement vers ce point d'équilibre coïncide avec un accroissement du capital par tête. En revanche tout déplacement sur la courbe vers le point B, à droite de celui-ci, correspond à une baisse du capital par tête. Plus éloigné est le niveau de capital effectif d'une économie de son point d'équilibre, B sur la courbe, plus vite cette économie évolue vers cet équilibre k^* . Lorsque $\dot{k} = 0$, l'économie est sur un sentier de croissance équilibrée et le taux de croissance de l'économie et du capital est $(g + n)$.

Considérons l'équation (11) : $\frac{\dot{E}}{E} = g_E + \alpha \frac{\dot{k}}{k}$ et supposons que g_E est une constante, dans ce cas la dynamique d'évolution des émissions de polluants $\frac{\dot{E}}{E}$ a les mêmes caractéristiques que celle du capital par tête décrite plus haut. Ici l'écart entre la courbe d'équation $\alpha s(1-\theta)k^{\alpha-1}$ et la droite horizontale d'équation $\alpha(n + g + \delta) - g_E$ mesure le taux de croissance des émissions de CO₂. T est le point d'intersection entre ces deux courbes (schéma (a)). A ce point, $\alpha s(1-\theta)k^{\alpha-1} = \alpha(n + g + \delta) - g_E$ ce qui équivaut à $\frac{\dot{E}}{E} = 0$, le taux de croissance des émissions de CO₂ est nul pour $k = k(T)$. On en déduit qu'à gauche du point T sur la courbe d'équation $\alpha s(1-\theta)k^{\alpha-1}$, correspondant à des

valeurs de $k < k(T)$, le taux de croissance des émissions de polluants est positif. En revanche il est négatif à droite de T, qui est appelé le point de retournement.

Graphique II.1 : L'EKC à partir du GSM



Sous les hypothèses que la croissance soit soutenable ($g_E < 0$) et que le point T soit à gauche du point B (schéma (a)), nous obtenons le schéma (b). Nous reconnaissons la relation qui est ainsi décrite, c'est la courbe de Kuznets environnementale, l'EKC.

Le graphique II.1 ci-avant n'est que la représentation d'une situation particulière des caractéristiques du Green Solow Model. En effet, plusieurs situations peuvent se présenter ⁸.

8. Voir Brock & Taylor (2004)

III – CROISSANCE ECONOMIQUE ET CONVERGENCE : UNE REVUE DE LITTERATURE

L'hypothèse de convergence du revenu par tête, de la production par tête ou des émissions de polluants par tête, fondée sur le modèle de croissance néoclassique de Solow (1956) et qui implique un rattrapage à long terme entre les pays, a donné lieu à de nombreuses applications empiriques. Les résultats obtenus sont souvent contradictoires, tant les concepts de convergence étudiés et/ou les méthodologies d'approche et procédures de tests appliquées sont différents. La convergence a été étudiée à différents niveaux dans la littérature ; au niveau international [Barro & Sala-i-Martin (1995), Mankiw et al. (1992), Quah (1996)...], au niveau régional [Lopez-Bazo et al. (1999), Bivand & Brunstad (2005)...] et au niveau local [Royuela & Artis (2006)...]. Les méthodes d'analyse de la convergence sont tout aussi variées ; la bêta convergence (β -convergence), la sigma-convergence (σ -convergence) et les clubs de convergence sont les plus utilisées parmi bien d'autres. L'analyse de la convergence s'est d'abord faite sur des données en coupe transversale. L'on a été confronté principalement à deux types de problèmes. Il s'agit d'une part, d'un problème d'omission de variables pertinentes dû essentiellement à l'indisponibilité de données et d'autre part, d'un problème d'hétérogénéité, les spécificités des entités étudiées ne sont pas prises en compte. Compte tenu de ces limites, des contributions théoriques et empiriques ont été proposées pour corriger le possible biais. Les probabilités de transition, les changements ou évolutions dans la distribution du revenu par tête ont été prises en compte dans l'analyse de la convergence par Quah (1993 et 1996). Magrini (1999) a considéré les propriétés de Markov Chain. L'approche par les données de panel est mise en avant par Knight et al. (1996), Evans & Karras (1996), Soukiazis & Castro (2004) et l'application des mesures de concordance et de stratification par Webber & White (2003).

L'une des contributions les plus importantes à la correction des biais de variables omises et d'hétérogénéité est la prise en compte des interactions et de la dépendance spatial avec Blommestein (1983), Anselin (1988), Florax et Folmer (1992), Bernat (1996), Rey & Montouri (1999) et Baltagi et Li (1999).

La question de la convergence a fait l'objet de nombres d'études sur les pays d'Afrique qui ont formé plusieurs Communauté Economiques régionales (CER) ⁹. Bécart et Ondo-Ossa (1997), sur la base des critères d'une Zone Monétaire Optimale et les tests de convergence ont montré dans la Zone Francs d'Afrique que les pays de l'UEMOA convergent avec une plus grande homogénéité que les pays de l'UMAC (Union Monétaire de l'Afrique Centrale). Diop (2002) dans son étude qui a porté sur les pays de la Communauté Economique des Etats de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) a établi qu'il y a une absence de convergence des économies. Mais lorsqu'il restreint son échantillon aux pays de l'UEMOA, il trouve une convergence des revenus par tête. Contrairement à Diop (2002), Hakim et al. (2007) ont trouvé que la convergence, bien qu'elle soit faible, existe dans la CEDEAO. Ils ont aussi montré que les 14 pays de la SADC (Communauté de Développement d'Afrique Australe) ont des coefficients de convergence absolue et conditionnelle très proches, ceux-ci convergent donc vers un unique état d'équilibre. Jones (2002), à l'aide des tests de sigma-convergence et de bêta-convergence, est arrivé à la conclusion que dans la CEDEAO il y a des clubs de convergence. Akanni-Honvo (2003) trouve dans son étude que les régions en développement qui sont dans des régimes d'intégration, sont en général dans un processus de bêta-convergence conditionnelle faible ; surtout en Afrique. De son côté Ndiaye (2006) montre que l'hypothèse de convergence conditionnelle est plus robuste que l'hypothèse de convergence absolue, la dernière ayant donné de mauvais résultats dans l'UEMOA. Combey et Mally (2010) n'ont pu rejeter l'hypothèse de convergence conditionnelle dans l'UEMOA entre 1997 et 2008. Ils ont aussi trouvé que le Pacte de Convergence, de Stabilité et de Croissance (PCSC), adopté en 1999 dans l'UEMOA a contribué à tripler la vitesse de convergence.

9. Les objectifs de stimulation de la croissance et de l'intégration économique par la stabilisation des taux de change et des prix a conduit les pays Africains à former des Union Monétaires et à enregistrer une convergence de leurs structures économiques. Selon Loufir et Reichlin (1993), la convergence nominale induira la convergence réelle.

Nakelse et al. (2011) en adoptant la méthodologie d'Evans et Karras (1996), ont trouvé que la convergence est absente dans les pays de l'Afrique dans leur ensemble. En revanche, ils ont mis en évidence la présence de clubs de convergence en considérant les CER, telles que la CEDEAO, la CEMAC, la SADC et l'UEMOA.

Du côté de la pollution, par exemple Stegman (2005) a montré que la convergence des émissions de polluants est faible de façon générale, mais qu'elle est inexistante dans les pays à taux de croissance économique élevés. De son côté Nguyen (2005) a prouvé l'évidence d'une convergence des émissions de polluants pour les pays industrialisés et une faible convergence au sein d'un ensemble de 100 pays moins homogènes. Westerlund (2008) dans un échantillon de pays développés et en voie de développement a trouvé l'évidence de la convergence. Un axe de recherches fait le lien entre la convergence des émissions et celle du revenu par tête, se rapprochant ainsi de l'hypothèse EKC. C'est par exemple le cas de Strazicich & List (2003) qui s'interroge sur la convergence spatiale des émissions de CO₂ dans 21 pays industrialisés. Ils ont prouvé l'existence d'une convergence conditionnelle pour l'ensemble des pays et justifié ce résultat par le fait que l'EKC est vérifiée dans ces pays. Brock & Taylor (2004) ont montré que le modèle de croissance de Solow (sur lequel est fondé le modèle de convergence) et l'hypothèse EKC sont intimement liés. Ils ont pu montrer que les déterminants de la croissance économique et de la convergence du revenu sont les mêmes qui déterminent l'EKC et la convergence des émissions de polluants. Brock & Taylor (2004) ont modifié le modèle de convergence proposé par Mankiw et al. (1992), Barro & Sala-i-Martin (1992) inspiré de Solow (1956) et Swan (1956) en y remplaçant le revenu par tête par une variable environnementale. Ils obtiennent un modèle qu'ils appellent le « Green Solow Model ». Selon eux le Green Solow Model, que nous abrégons ici (GSM), est une alternative au modèle proposé par Grossman & Krueger (1991), pour analyser la relation croissance-environnement. Le GSM selon eux, permet de corriger certaines insuffisances de l'EKC qui peuvent expliquer les raisons pour lesquelles cette dernière n'est pas vérifiée dans certains cas. Le GSM apparaît comme une correction du biais de spécification de la relation entre les émissions de polluants par habitant et le revenu par tête.

Une des particularités du GSM est qu'il est fondé sur la convergence des émissions de polluants entre pays. Cette question n'est toutefois pas nouvelle dans la littérature, plusieurs études l'ont traité comme celles de Strazicich & List (2003), Lee & List (2004), Bulte et al. (2007). En plus de la convergence des émissions, ce qui le distingue de l'EKC, le GSM fait une analyse d'un point de vue théorique de la relation entre les émissions de polluants et le revenu, ce qui constitue sa valeur ajoutée par rapport aux études sus-citées.

Ces études ne prennent pas en compte les effets spatiaux. Pourtant, certains facteurs explicatifs de la convergence, telles que la diffusion des technologies et la mobilité des facteurs peuvent avoir une forte dimension géographique. Il est nécessaire de faire comme Rey et Montouri (1999) dans une étude sur les Etats-Unis, Dillings-Hansen et Smith (1997) sur des municipalités danoises, et bien d'autres ; car la répartition géographique des phénomènes de croissance à l'échelle régionale n'est pas aléatoire, selon Dramani (2010). Ce dernier, en prenant en compte les effets spatiaux dans la zone CFA constituée de l'UEMOA et de la CEMAC (Communauté Economique et Monétaire des Etats de l'Afrique Centrale), a mis en évidence l'existence d'effets inhibiteurs sur la vitesse de convergence, entre 1970 et 2000.

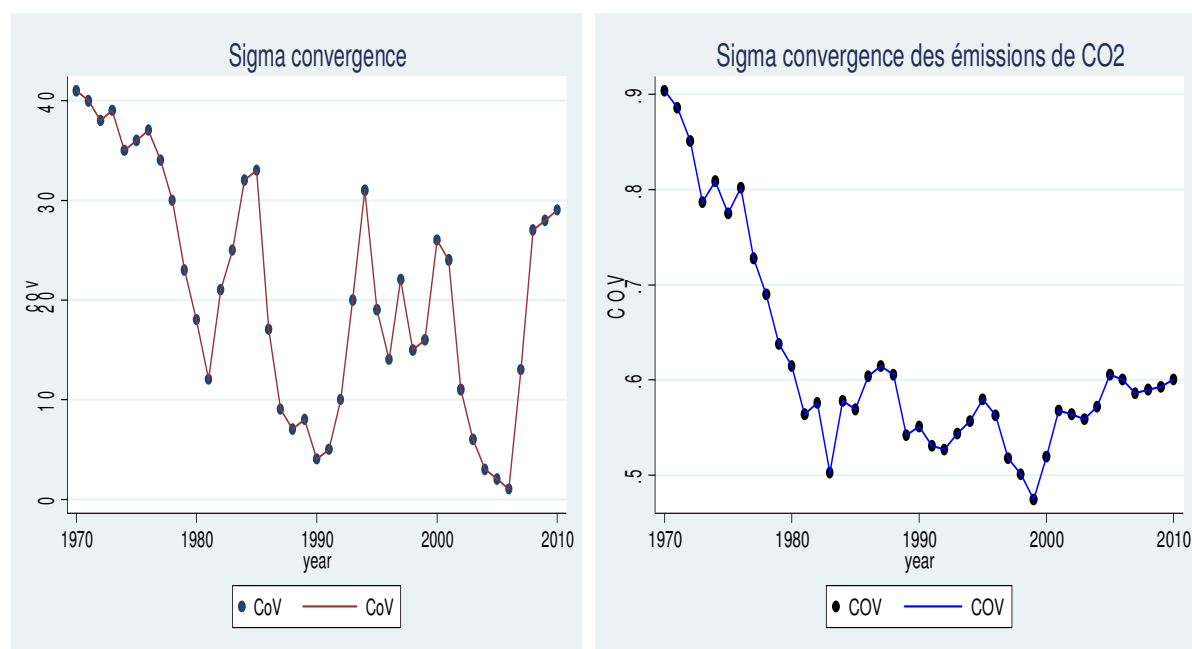
IV – CONVERGENCE DU PIB ET DU CO₂ PAR TETE DANS L'UEMOA : UNE PRISE EN COMPTE DES EFFETS SPATIAUX

Dans cette section, nous vérifions dans la zone UEMOA si la convergence du revenu par tête existe. Nous commençons par l'analyse de la σ -convergence essentiellement à travers la description des données. Le coefficient de β -convergence est par la suite estimé en tenant compte des effets spatiaux. La présentation du modèle précède celle des résultats des estimations.

IV – 1 – L'analyse de l'évolution de la dispersion du revenu par tête et du CO₂ par tête : la σ -convergence

Barro and Sala-i-Martin (1995) ont défini la sigma convergence (σ -convergence) comme une mesure du niveau de dispersion du revenu par tête au sein d'un ensemble de régions ou de pays. La σ -convergence existe s'il y a une baisse dans le temps de la dispersion du revenu par tête. Il existe plusieurs méthodes ou mesures statistiques qui permettent de tester la σ -convergence, nous utilisons ici le coefficient de variation du PIB par tête et les résultats sont présentés dans le graphique II.2.

Graphique II.2 : Sigma convergence du PIB/tête et des émissions de CO₂/tête (1970-2010)



Le graphique II.2 décrit l'évolution de la distribution du revenu par tête et des émissions de CO₂ par tête dans la zone UEMOA entre 1970 et 2010. Le schéma de gauche concerne le PIB par tête, le schéma de droite concerne les émissions de CO₂ par tête.

Lorsqu'on considère le schéma de gauche, il indique l'absence de tendance unique à la baisse (σ -convergence) ou à la hausse du coefficient de variation (σ -divergence) sur toute la période. Nous pouvons déduire néanmoins trois périodes de σ -convergence, 1970-1981, 1985-1990 et 1994-2006. Le graphique montre aussi trois autres périodes de σ -divergence, 1981-1985, 1990-1994 et 2006-2010.

Entre 1994 et 2000, il y a eu une instabilité, due probablement à deux principaux événements. Le premier est la dévaluation de la monnaie unique de la zone le Francs CFA en janvier 1994. Le second événement est la création de l'UEMOA ou du moins la réorientation des objectifs de l'union en janvier 1994 (l'UMOA devient UEMOA). Cette période se présente comme une période d'ajustement. Le début des années 1980 a été marqué par la chute des cours des matières premières, principaux produits d'exportation de la majorité des pays membres, ce qui peut expliquer la σ -divergence entre 1981 et 1985. C'est en 1990 qu'est né le multipartisme dans la zone en particulier en Côte d'Ivoire, l'une des conséquences négatives est qu'il a induit une instabilité politico-militaire dans toute la zone et probablement des disparités dans la distribution des revenus par tête. Nous constatons qu'un choc peut entraîner une divergence, ce qui indique que ce choc affecte différemment les pays de la zone. Il apparaît ici que la dispersion des revenus se réduit depuis 1970 mais cette tendance a souvent été perturbée par l'occurrence de chocs d'origine économique, politique ou institutionnelle.

Le schéma de droite présente globalement deux tendances. La première est une forte tendance à la baisse entre 1970 et 1982. La seconde est plutôt une situation de stationnarité. Entre 1970 et 1982, les écarts d'émissions de CO₂ se sont réduits rapidement pendant la première décennie, traduisant une situation de convergence. En revanche, après 1980, le coefficient de variation a oscillé entre 0.5 et 0.6, ce qui semble avoir mis un terme au processus de convergence enclenché depuis 1970.

Notons toutefois, qu'entre 1970 et 1980, la réduction des écarts de revenu par tête entre les pays de l'Union est accompagnée par celle des émissions de CO₂. Après 1980, le graphique montre que le PIB et le CO₂ ne présente pas les mêmes trajectoires du coefficient de variation. Des questions restent toutefois persistantes, comment et à quelle vitesse s'effectue le retour à la moyenne du revenu par tête et les émissions de CO₂ de chaque pays ou de la zone suite à un choc aléatoire ? Les réponses à ces questions sont données par la mesure de la β -convergence.

VI – 2 – Estimation de la vitesse de convergence du revenu par tête dans l'UEMOA : la β -convergence

Dans cette partie nous analysons en détail le processus de β -convergence dans la zone UEMOA. Comme précisé plus haut la β -convergence peut être absolue ou conditionnelle. La β -convergence absolue stipule que toutes les entités considérées convergent vers un unique équilibre stable à terme. La β -convergence conditionnelle quant à elle décrit la situation où chaque économie converge vers son propre sentier d'équilibre. Contrairement au cas de convergence absolue les économies ont des caractéristiques structurelles différentes, c'est-à-dire des taux d'investissement, des taux de croissance de la population, des niveaux de technologie, ... différents. Toutefois, l'UEMOA étant une union économique et monétaire, il est probable qu'il y ait des interactions dans la zone. En effet la coordination des politiques sectorielles par la mise en œuvre d'actions communes (objectifs et missions de l'UEMOA) et la proximité géographique des pays membres peut créer des externalités spatiales. Ignorer ces effets peut altérer les résultats de l'estimation de la convergence. Selon Anselin (2006), il est impossible d'ignorer le problème d'effets spatiaux lorsqu'on travaille avec des données géo-localisées.

IV – 2 – 1 - Présentation des modèles et de la méthode économétrique

a – Le modèle

Le concept de β -convergence a été développé dans le cadre d'un modèle de croissance de type néoclassique. Les modèles de Solow (1956) et Swan (1956) offrent un cadre simple pour comprendre la croissance par un processus d'accumulation du capital. La propriété de convergence résulte des implications des représentations traditionnelles de la croissance des modèles de Solow (1956) et Swan (1956). C'est à partir de ce cadre théorique que sont tirés les outils d'analyse empirique de la croissance et des concepts de convergence. Le coefficient de convergence a longtemps été évalué empiriquement pour vérifier le rattrapage des niveaux de revenu par tête, de production par tête des économies.

Toutefois, il est plus récemment utilisé pour vérifier le rattrapage des niveaux de pollution.

Pour analyser la β -convergence, il s'agit de régresser le taux d'évolution de la variable Y d'un pays ou d'une région sur son niveau initial. Il est aussi possible de contrôler les différences en termes d'état stationnaire entre les pays ou régions en incorporant d'autres variables supplémentaires dans le modèle. Mankiw et al. (1992), Barro and Sala-i-Martin (1992) et Brock & Taylor (2004) ont proposé un modèle pour tester la β -convergence, qui a été adapté au cas des panels par Islam (1995). L'approche par les données de panel permet de résoudre non seulement un problème de variables omises mais aussi celui de l'hétérogénéité inobservée, en modélisant les spécificités des économies prises en compte, Islam (2003).

Le modèle de convergence proposé par Mankiw et al. (1992), Barro and Sala-i-Martin (1992) peut être de façon synthétique présenté sous forme panel selon l'équation (13) :

$$\ln \left[\frac{Y_{it}}{Y_{it-1}} \right] = \mu_{t,i} + \varepsilon_{t,i} \quad (13)$$

Où $\ln \left[\frac{Y_{it}}{Y_{it-1}} \right]$ est le taux de croissance de la variable Y. $\varepsilon_{t,i}$ est le terme d'erreur. Le terme $\mu_{t,i}$ est explicité de la manière suivante :

$$\mu_{t,i} = \alpha_i + (1 - e^{-\vartheta k}) \ln(Y_{it-1}) \quad (14)$$

Où ϑ est la vitesse de convergence et $(1 - e^{-\vartheta k})$ est le coefficient de convergence. Le modèle s'écrit comme :

$$\ln \left[\frac{Y_{it}}{Y_{it-1}} \right] = \alpha_i + \beta \ln(Y_{it-1}) + \varphi \ln(X_{t,i}) + \varepsilon_{t,i} \quad (15)$$

Où Y peut être le PIB par tête, Mankiw et al. (1992), Barro and Sala-i-Martin (1992) ou une variable environnementale tel que le CO₂, Brock & Taylor (2004). $\beta = (1 - e^{-\vartheta T})$ est le coefficient de convergence et X est un vecteur de variables de contrôle, qui peuvent être les taux d'épargne, les taux de croissance de la population, le niveau d'ouverture des économies, ... La convergence existe si le coefficient β est statistiquement et

significativement négatif. Lorsqu'en plus, le vecteur des coefficients φ est significativement différent de zéro, alors la convergence est dite conditionnelle. En revanche, si $\varphi = 0$, alors la convergence est dite absolue. Le modèle (15) peut être réécrit sous forme d'une équation dynamique en suivant Caselli et Leffort (1996), Durlauf et al. (2006) et nous obtenons l'équation :

$$\ln(y_{it}) = \alpha_i + (1 + \beta) \ln(y_{it-1}) + \varphi \ln(x_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (16)$$

Nous réécrivons l'équation (16) comme il suit :

$$\ln(y_{it}) = \alpha_i + \Omega \ln(y_{it-1}) + \varphi \ln(x_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (16a)$$

Où $\Omega = 1 + \beta$, avec β le coefficient de convergence.

La proximité géographique d'une part et le renforcement du processus d'intégration initié par l'Union laissent penser que les phénomènes économiques et environnementaux peuvent être spatialement autocorrélés. Selon Le Gallo (2004), il est intéressant d'estimer les impacts des effets de débordement et la façon dont les performances économiques et environnementales, dans notre cas, des pays interagissent. En prenant en compte les effets spatiaux, ceux-ci peuvent être incorporés de plusieurs manières dans le modèle (16) et permettent d'améliorer le modèle de convergence. Les méthodes de correction sont basées sur l'introduction de variables exogènes décalées spatialement ou d'une spécification autorégressive de la variable endogène ou du terme d'erreur, Baltagi (2001). Il y a trois façons qui sont plus communément utilisés : le modèle avec variable endogène décalée, le modèle spatial croisé avec variables explicatives décalées et le modèle avec autocorrélation des erreurs. En prenant en compte les trois façons d'intégrer les effets de débordement décrites, l'équation (16a) devient dans ce contexte:

$$\ln(y_{it}) = \alpha_i + \Omega \ln(Y_{it-1}) + \gamma W \ln(x_{t,i}) + \rho W \ln(y_{it}) + (\lambda W \mu_{t,i} + \eta_{t,i}) \quad (17)$$

Où $\Omega = 1 + \beta$, avec β le coefficient de convergence. X est l'ensemble des variables explicatives qui peut inclure ou pas le niveau initial de la variable Y , $\ln(Y_{t,i})$. W est la

matrice de poids de la zone et $\lambda W\mu_{t,i} + \eta_{t,i} = \varepsilon_{t,i}$ le terme d'erreurs. Les effets de débordement géographiques qu'implique cette spécification sont globaux. Elle implique deux types de débordements géographiques selon Le Gallo (2004). D'un côté, le taux de croissance moyen annuel du PIB ou des émissions de CO₂ d'un pays i peut être influencé par les taux de croissance moyens annuels de ses pays voisins à travers la variable endogène décalée, dans ce cas il s'agit du modèle SAR où $\gamma = \lambda = 0$. De l'autre côté, le taux de croissance moyen du PIB ou des émissions de CO₂ d'un pays i peut être influencé par les niveaux initiaux du PIB ou des émissions de CO₂ des pays voisins ou par d'autres variables supplémentaires, à travers les variables explicatives décalées, dans ce cas il s'agit du modèle SDM où $\lambda = 0$. Les coefficients γ et ρ indiquent l'intensité de l'influence des observations des pays voisins sur le taux de croissance moyen du revenu par tête ou des émissions de polluants d'un pays i . Le coefficient λ représente l'intensité de l'autocorrélation dans les résidus. Il indique la capacité de diffusion des chocs entre les pays. Un choc spécifique dans un pays influence non seulement le taux de croissance de ce pays, mais il crée aussi un impact sur le taux de croissance des autres pays, si λ est significatif.

b – La méthodologie

Nous analysons la convergence dans le cadre d'un panel, ce qui permet de contrôler l'hétérogénéité inobservée. Selon Islam (2003), l'approche panel de la convergence a pour avantage de permettre de corriger les biais d'omission de variable et d'hétérogénéité qui peuvent exister dans une approche en coupe transversale. Nous pouvons supposer que les comportements des pays sont identiques et estimer le modèle (16a) par les Moindres Carrés Ordinaires (MCO). Cette hypothèse semble forte, il est nécessaire de tenir compte des spécificités individuelles des pays qui peuvent être fixes ou aléatoires. Dans les équations (16a) et (17), ces spécificités sont exprimées par α_i , qui peut être supposé fixe ou aléatoire. En pratique et de façon générale, les spécificités individuelles fixes sont mieux adaptées lorsque l'analyse porte sur un échantillon limité et précis d'individus. En

revanche, les effets aléatoires sont plus appropriés lorsque l'analyse portant sur une population plus large, ne tient compte que d'une partie de celle-ci ¹⁰. Nous considérons les pays de la zone UEMOA, pour cela nous supposons les spécificités individuelles fixes.

La spécification en panel dynamique du modèle de convergence est devenue très courante, comme dans notre cas. L'estimateur within peut toutefois conduire à des résultats biaisés dans deux principaux cas : si la période d'étude est très courte ou si la variable dépendante est corrélée avec les spécificités individuelles α_i selon Matyas & Sevestre (2008). Le biais peut être lié à un problème d'endogénéité et un problème d'omissions de variables, Bond et al. (2001) et Nickell (1981). Pour résoudre ces problèmes, Holtz-Eakin et al. (1988) et Arellano & Bond (1991) proposent d'estimer les panels dynamiques par la méthode des moments généralisés (GMM). Le biais lié aux spécificités individuelles peut être éliminé par le GMM en différence. Arellano & Bond (1991) proposent d'utiliser par exemple les variables y_{it-j} , ($j=2, 3 \dots, T$) comme instruments de la différence $\Delta y_{t-1} = (y_{t-1} - y_{t-2})$ mais aussi des autres variables Δx_t . Cependant, cette méthode est limitée par la faiblesse de ces instruments et par son imprécision lorsque nous sommes dans le cas d'un échantillon de petite taille, Bouayad-Agha et al. (2013), mais aussi pour des variables continues, Bonnefond (2013). Arellano & Bover (1995) et Blundell & Bond (1998) ont proposé comme alternative l'estimateur GMM en système. Ce dernier prend en compte simultanément l'estimation de l'équation en différence première, avec comme instruments les variables en niveau décalées et l'estimation de l'équation en niveau avec comme instruments adéquats les variables en différence première décalées.

Toutefois, la pertinence de l'estimateur GMM de façon générale est basée sur deux hypothèses. La première est l'hypothèse de validité des instruments, vérifiée par le test de Sargan. La seconde hypothèse concerne l'absence d'autocorrélation d'ordre 2 [AR(2)] dans les erreurs.

10. Voir Baltagi (2005) pour plus de détails

L'un de nos objectifs dans ce chapitre est de tenir compte des effets spatiaux. Il peut y avoir un biais de spécification si la dépendance spatiale est ignorée, Arbia et al. (2008). Selon Anselin (2001) et Abreu et al. (2005), la prise en compte de la dimension spatiale dans le modèle de convergence crée un biais de simultanéité et d'endogénéité, la méthode d'estimation appropriée dans ce cas se situerait entre les MCO et le Within. Pour Elhorst (2011), en présence d'effets spatiaux dans un panel dynamique, trois méthodes ont été développées pour estimer le modèle. L'une est basée sur le maximum de vraisemblance ou quasi maximum de vraisemblance. La deuxième méthode est fondée sur celle des variables instrumentales (IV) ou celle des moments généralisés (GMM) et enfin la troisième est l'approche de Monte-Carlo par chaînes de Markov (MCMC). Toutefois, ces différents estimateurs peuvent être complémentaires en fonction de la spécification du modèle considéré, Bouayad-Agha et al. (2013).

Dans ce chapitre nous choisissons d'introduire la dépendance spatiale dans les variables et non dans les erreurs, le modèle SAR et SDM. En effet, l'autorégression spatiale semble mieux adaptée pour mesurer comment la croissance d'une région est affectée par celle de ses voisins, (Beck et al., 2006, Blonigen et al., 2007). L'estimateur GMM présente des avantages pour estimer les modèles panels dynamiques, il tolère la présence de l'autocorrélation d'ordre 1 et est plus flexible et moins exigeante en termes de restrictions. Cependant, cet estimateur GMM fournit des résultats biaisés quand on introduit les effets d'interaction, Elhorst (2010c), dus au nombre élevé des moments considérés, Lee & Yu (2010c). Selon Parent & LeSage (2010, 2011), la méthode MCMC nécessite une distribution conditionnelle de chaque paramètre, ce qui amène à inévitablement faire des simplifications de calcul. L'approche par la méthode du maximum de vraisemblance apparaît plus simple.

IV – 2 – 2 - Les données

L'étude porte sur les pays de l'UEMOA (Union Economique et Monétaire Ouest Africaine) qui regroupe huit pays que sont le Bénin, le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire, la Guinée Bissau, le Mali, le Niger, le Sénégal et le Togo. Les données du revenu par tête et

des émissions de CO₂ pour ces pays ont été tirées de la base de données de la Banque Mondiale (World Development Indicators (WDI, 2012)). Le PIB par tête est exprimé en dollar US (prix constant) et nous prenons son logarithme. D'autres variables sont utilisées comme variables de contrôle, ce sont le logarithme du taux d'investissement utilisé comme une variable proxy du taux d'épargne, du taux de croissance de la population, du niveau de développement financier, du taux de scolarisation et du taux d'ouverture économique, mesuré par la somme des exportations et des importations dans le PIB. Ces variables ont pour source la base de données de la BCEAO (Banque Centrale des Etats de l'Afrique de l'Ouest). L'étude a finalement porté sur sept des huit pays de la zone pour des raisons d'indisponibilité de données pour la Guinée Bissau et les données couvrent la période 1970 – 2010.

Avant d'estimer les vitesses de convergence du PIB et du CO₂ dans un régime spatial, il est nécessaire de définir la matrice de poids pour la zone UEMOA. Nous construisons une matrice W de contiguïté standardisée. Deux pays ayant une frontière commune sont dits contigus et l'élément w_{ij} correspondant de la matrice est 1, sinon $w_{ij} = 0$. Il est toutefois possible de construire d'autres formes de matrice de poids, surtout les matrices de distance. Avec une matrice de contiguïté, nous supposons que les interactions entre des entités géographiques n'existent que lorsque celle-ci partagent une frontière commune. Dans le cas d'une matrice distance, nous supposons que l'intensité de la dépendance spatiale dépend de la distance entre les centres de gravité des entités géographiques considérées. Plusieurs indicateurs peuvent être utilisés pour déterminer la matrice distance en fonction de la définition que l'on donne à la notion de distance, (Baumont et al., 2000).

La matrice de contiguïté W_p de la zone UEMOA et sa W la matrice de contiguïté standardisée sont données ci-après. La matrice standardisée permet de simplifier les interprétations et la comparaison des paramètres estimés, (Bouayad-Agha et al., 2013), mais aussi de réduire le problème d'hétérogénéité des superficies des régions, (Anselin, 2002).

$$W_p = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad W = \begin{pmatrix} 0 & 0.33 & 0 & 0 & 0.33 & 0 & 0.33 \\ 0.2 & 0 & 0.2 & 0.2 & 0.2 & 0 & 0.2 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0.5 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.25 & 0.25 & 0 & 0.25 & 0.25 & 0 \\ 0.33 & 0.33 & 0 & 0.33 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0.5 & 0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

IV – 2 – 3 – Les résultats empiriques de la convergence : l'effet de la dépendance spatiale

Les résultats de l'estimation de la convergence dans l'UEMOA sont donnés dans les tableaux II.1 et II.2. Chaque tableau de résultats se présente sous deux parties principales. La première donne les résultats de l'estimation du modèle de convergence sans effets spatiaux (équation 16a), la seconde partie concerne les résultats du modèle avec autorégression spatiale (équation 17). Nous faisons comme Elhorst (2010c, 2011), LeSage (2008), Baumont & Le Gallo (2000) et estimons le modèle (17) par la méthode du maximum de vraisemblance. Toutefois, nous notons les résultats des méthodes within et GMM dans un souci de comparaison. Dans chacune des parties, nous commençons par l'estimateur pooled comme spécification de référence. Ensuite, les spécificités individuelles sont prises en compte et les modèles sont estimés par le within. Enfin nous prenons en compte le caractère dynamique des modèles (16a) et (17) et estimons par les méthodes GMM de Arellano & Bond (1991) et système GMM proposé par Arellano & Bover (1995) et Blundell & Bond (1998). Enfin nous réestimons le modèle (17) par la méthode du maximum de vraisemblance lorsque les effets spatiaux sont pris en compte. Les II.1 et II.3 donnent les résultats de la convergence du PIB par tête et des émissions de CO₂ par tête, respectivement.

Les tableaux de résultats présentent une partie haute et une partie basse. La partie haute donne les coefficients estimés et calcule la vitesse ¹¹ de convergence et la demi-vie ¹² si possible. La vitesse de convergence mesure la vitesse à laquelle une économie se rapproche de son niveau d'équilibre stationnaire. La demi-vie est le temps nécessaire à une économie pour combler de moitié, la distance qui la sépare de son état stationnaire. La partie basse donne les performances des estimateurs. Avant d'interpréter les coefficients obtenus, il est nécessaire de s'assurer de la bonne qualité des estimations, en d'autres termes il faut s'assurer que les estimateurs sont convergents. Les estimateurs GMM et système GMM sont efficaces si les instruments utilisés sont valides (hypothèse nulle) et qu'il n'y a pas d'autocorrélation d'ordre 2 (hypothèse nulle), l'autocorrélation négative d'ordre 1 étant permise. Les tests de Sargan et AR(2) d'Arellano & Bond (1991) permettent de vérifier ces hypothèses.

11. La vitesse de convergence interprétée comme le taux de convergence, est mesurée par la formule suivante : $\vartheta = -\ln(1 + \beta T) / T$, où T est le temps.

12. La demi-vie est définie comme le temps nécessaire à une économie pour combler la moitié de la distance qui la sépare de son niveau d'équilibre stable de long terme, sa formule est $DV = -\ln(2) / \ln(1 + \beta)$.

Lorsque l'hypothèse, selon laquelle les pays de l'Union ont des conditions initiales identiques est relâchée, la convergence est dite conditionnelle et le tableau II.1 donne les résultats pour le PIB par tête. Le coefficient de convergence est d'abord estimé dans un régime standard, puis dans un régime spatial. En l'absence de dépendance spatiale, l'équation (16a) est estimée par l'estimateur pooled, within, GMM et système GMM. Les hypothèses nulles d'absence d'autocorrélation de second ordre et de validité des instruments utilisés dans les estimations GMM et système GMM sont rejetées, au seuil de 10 %. Ces dernières ne fournissent donc pas des estimateurs convergents. L'estimateur within semble ici mieux spécifier la convergence du PIB par tête. Le coefficient et la vitesse de convergence du PIB par tête sont respectivement $\beta = 0.993 - 1 = -0.007$ et $\vartheta = 0.8$ %. La demi-vie s'établit à 98 ans. Avec la prise en compte de la dépendance spatiale, les estimateurs GMM et système GMM ont de bonnes performances. Les instruments sont valides et il n'y a pas d'autocorrélation de second ordre, comme l'indiquent les tests, mais le biais persiste. L'estimateur ML fournit des coefficients convergents et il explique plus de la moitié des variations du PIB par tête des pays de l'UEMOA. Les coefficients ρ et γ sont significatifs dans les deux cas, modèle SDM et SAR, ce qui justifie bien la nécessité de prendre en compte la dépendance spatiale dans la zone UEMOA. La vitesse de convergence du PIB par tête est passée de 0.8 %, avant la prise en compte des effets frontières à une valeur qui varie entre 1.85 % et 2.60 %.

Tableau II.1 : Convergence conditionnelle du PIB par tête

Variable endogène : log(PIB/tête)

PIB_t	SANS EFFETS SPATIAUX				AVEC EFFETS SPATIAUX					
	Pooled	Within	GMM	Sys-GMM	SDM			SAR		
					GMM	Sys-GMM	ML	GMM	Sys-GMM	ML
Const	97, 50*** (0.00)	-20, 63 (0.40)		53, 58*** (0.00)	41, 99*** (0.00)	43, 09*** (0.00)	-	49, 16*** (0.00)	40, 35*** (0.00)	-
ρ					0, 02 (0.19)	0, 01 (0.24)	0, 14*** (0.00)	-0, 003 (0.82)	0, 034** (0.03)	0, 13*** (0.00)
γ					0, 03** (0.02)	0, 041** (0.02)	0.03** (0.04)			
$\ln(y_{t-1})$	0, 9979*** (0.00)	0, 993*** (0.00)	0, 972*** (0.00)	0, 994*** (0.00)	0, 9925*** (0.00)	0, 9926*** (0.00)	0, 984** (0.04)	0, 992*** (0.00)	0, 988*** (0.00)	0.987*** (0.00)
$\ln(s)$	0, 17** (0.01)	0, 73*** (0.00)	0, 78*** (0.00)	0, 27*** (0.00)	0, 16*** (0.00)	0, 16*** (0.00)	0, 05** (0.01)	0, 13** (0.01)	0, 16*** (0.00)	0,07** (0.01)
$\ln(n)$	0, 06 (0.27)	0, 03 (0.59)	-0, 003 (0.78)	0, 04*** (0.00)	0, 27*** (0.00)	0, 25*** (0.00)	0, 06** (0.01)	0, 28*** (0.00)	0, 26*** (0.00)	0, 05** (0.03)
$\ln(tf)$	0, 36*** (0.00)	0, 28*** (0.00)	0, 39*** (0.00)	0, 69*** (0.00)	0, 34*** (0.00)	0, 40*** (0.00)	0, 05*** (0.00)	0, 38*** (0.00)	0, 38*** (0.00)	0, 04*** (0.00)
$\ln(ts)$	0, 05 (0.41)	0, 39*** (0.00)	0, 17*** (0.00)	0, 08*** (0.00)	-0, 06** (0.04)	-0, 006 (0.88)	0, 04 (0.20)	0, 01 (0.80)	0, 03 (0.93)	0, 03 (0.33)
$\ln(ouv)$	-0, 03 (0.57)	-0, 007 (0.99)	-0, 08*** (0.00)	-0, 15*** (0.00)	-0, 03 (0.13)	-0, 07 (0.101)	0, 01 (0.47)	-0, 05 (0.20)	-0, 06 (0.11)	0, 01 (0.35)
Vitesse	0, 22 %	0, 8 %	DIV	0, 71 %	0, 89 %	0, 89 %	2, 60 %	1,04 %	1, 84 %	1, 85 %
R ²	0.39	0.56			0.61	0.39	0.54	0.36	0.38	0.58
AR(1)			-7, 21*** (0.00)	-9,75*** (0.00)	-4, 50*** (0.00)	-3, 13*** (0.00)		-5, 72*** (0.00)	-4, 01*** (0.00)	
AR(2)			1, 83* (0.05)	1, 93* (0.05)	1,39 (0.23)	2, 27 (0.13)		0, 80 (0.37)	0, 72 (0.39)	
Sargan test			301, 42* (0.07)	325, 36* (0.050)	209, 43 (0.99)	288, 94 (0.66)		218, 32 (0.96)	306, 64 (0.32)	

Notes : (*), (**) et (***) indiquent la significativité aux seuils de 10%, 5% et 1% respectivement. ML = Maximum de Vraisemblance. Les P-value sont entre parenthèses. DIV indique une situation de divergence

Nous notons ici les forces positives des interactions spatiales qui déterminent les dynamiques de croissance et de convergence. Cette vitesse de convergence est six fois et environ trois fois plus forte que celle trouvée par Dramani (2010) dans la zone Francs CFA¹³ tout entière avec une prise en compte des effets spatiaux entre 1970 et 2000, respectivement avant et après les programmes d'Ajustement Structurel (PAS). Toutefois, la vitesse de convergence du PIB par tête dans l'UEMOA est proche de celle généralement trouvée dans la littérature qui est comprise entre 2 % et 3 % pour les économies développées.

La convergence du PIB par tête existe dans l'UEMOA et nous notons que les effets spatiaux ont une influence positive sur le processus de convergence. Le taux d'investissement, le taux de financement et le taux de scolarisation ont un effet significativement positif, ce qui est conforme aux résultats obtenus dans la littérature. Le taux de croissance de la population et le taux d'ouverture ne sont pas significatifs. Nous trouvons ici que le vecteur de coefficients ϕ est non nul. Tous les coefficients des variables de contrôle ne sont pas significativement nuls. Nous en déduisons qu'il existe dans l'UEMOA une convergence conditionnelle du PIB par tête. Toutefois, selon LeSage (2008), pour estimer le signe et l'intensité de l'impact des variables explicatives, dans un régime spatial, il faut regarder du côté des effets directs, des effets indirects et des effets totaux. En effet, l'impact d'une variable explicative sur la variable expliquée est vu comme une combinaison d'influences directes et indirectes de voisinage. Et LeSage (2008) de préciser que, comme l'impact des variations d'une variable explicative est différent d'un pays à l'autre, il est plus approprié de rechercher les effets moyens. Ces effets sont définis par Pace & LeSage (2006) de la manière suivante :

13. La zone Francs CFA est constituée de l'UEMOA et la CEMAC (Communauté Economique et Monétaire de l'Afrique Centrale) qui regroupe le Cameroun, le Congo Brazzaville, le Gabon, la République Centrafricaine et le Tchad.

PARTIE 1 : CROISSANCE ET ENVIRONNEMENT DANS LA ZONE UEMOA

- Les effets directs moyens mesurent l'impact moyen de la variation d'une variable exogène X dans un pays donné i sur sa variable endogène. Ces mesures prennent en compte les effets de la variation de l'exogène X du pays i sur l'endogène des autres pays du système spatial considéré.

- Les effets indirects moyens mesurent l'impact moyen sur la variable endogène d'un pays donné provenant de la variation de la variable exogène X , dans tous les pays du système spatial pris en compte.

- Les effets moyens totaux, c'est la somme des effets directs et des effets indirects. Le tableau II.2 suivant donne les effets directs, indirects moyens et totaux des variables de contrôle sur le PIB par tête dans l'UEMOA.

Tableau II.2 : Effets directs, indirects et totaux sur le PIB par tête

	SDM			SAR		
Effets	<i>Directs</i>	<i>Indirects</i>	<i>Totaux</i>	<i>Directs</i>	<i>Indirects</i>	<i>Totaux</i>
Investissement [ln(s)]	0,058** (0.02)	-0,030** (0.04)	0,028** (0.02)	0,087** (0.02)	-0,044* (0.08)	0,043*** (0.00)
Dév. Financier [ln(tf)]	0,063*** (0.00)	-0,032*** (0.00)	0,031*** (0.00)	0,055*** (0.00)	-0,027** (0.04)	0,028*** (0.00)
Population [ln(n)]	0,071** (0.01)	-0,034** (0.02)	0,037** (0.02)	0,063** (0.03)	-0,029** (0.04)	0,034* (0.05)

Notes : (***), (**) et (*) indiquent les seuils de significativité de 1 %, 5 % et 10 % respectivement. Les P-valu sont entre parenthèses.

Les effets (directs, indirects et totaux) moyens de long terme, des variables investissement, développement financier et population, reportés dans le tableau II.2 sont significatifs. Les effets directs ont le signe positif attendu pour ces variables. Ce qui indique qu'un accroissement de la population, de l'investissement ou une amélioration du système financier dans un pays quelconque de l'UEMOA a un impact positif sur le PIB par tête des pays de l'union. En revanche, les effets indirects sont significativement négatifs, il apparaît donc que l'impact moyen de l'accroissement de l'une des variables dans les pays de l'Union, sur le PIB par tête d'un quelconque pays de l'UEMOA est négatif. Toutefois, les effets directs sont supérieurs en valeur absolue aux effets indirects, ce qui

donne des effets totaux de ces variables positifs. Les effets du taux de scolarisation et du taux d'ouverture ne sont pas significatifs, c'est la raison pour laquelle nous les avons omis dans le tableau II.2. Ces résultats sont en conformité avec les résultats de l'estimation des coefficients. Notons que les résultats des modèles SAR et SDM ne se contredisent pas fondamentalement, il existe juste une faible différence dans l'amplitude des effets directs et indirects. Les effets indirects mesurent l'impact moyen de tous les voisins à un pays de l'Union, augmentant leurs investissements, développant leur système financier et connaissant un accroissement de leur population, sur le PIB par tête du dit pays. Ces effets sont négatifs et indiqueraient la mobilisation des forces motrices de l'économiques vers les pays voisins au détriment du pays tiers concerné, en effet il y a la libre circulation des biens et des personnes dans l'Union.

Les résultats de l'estimation de la convergence des émissions de CO₂ par tête dans la zone UEMOA sont donnés dans le tableau II.3. En ignorant la dépendance spatiale, l'estimateur within est retenu ici, les estimateurs GMM de Arellano & Bond (1991) et système GMM de Blundell & Bond (1995) n'étant pas convergents. En effets, les hypothèses nulles de validité des instruments et d'absence d'autocorrélation d'ordre 2 sont rejetées. Le coefficient de convergence est significatif. Le coefficient de convergence conditionnelle des émissions de CO₂ dans l'UEMOA en l'absence des effets spatiaux est $\beta = -0.01$ et la vitesse de convergence conditionnelle est $\vartheta = 1.36\%$. Cette vitesse de convergence correspondant à une demi-vie égale à 66 ans.

Les estimateurs GMM et système GMM affichent de bonnes performances avec la prise en compte de la dépendance spatiale. Les tests de diagnostics, de Sargan et AR(2) de Arellano & Bond (1991), le confirment. Les hypothèses nulles d'absence d'autocorrélation d'ordre 2 et de validité des instruments ne peuvent être rejetées. En revanche, le risque de biais persiste comme nous l'avons expliqué plus haut. L'estimateur GMM peut produire des résultats biaisés en présence des effets d'interaction. Nous considérons les résultats de l'estimateur ML (Maximum de vraisemblance), convergent dans une situation de modèle dynamique avec effets spatiaux. Les résultats indiquent certes, que les coefficients ρ et γ sont significatifs, ce qui justifient bien la nécessité de prendre en compte les effets de

frontière pour estimer la convergence des émissions de CO₂ dans l'UEMOA. En revanche, le coefficient estimé $\Omega = 1 + \beta$, n'est pas significatif. Il apparaît qu'il n'y a pas de convergence des émissions de CO₂. La dépendance spatiale a eu un pouvoir inhibiteur sur le processus de convergence des émissions de CO₂ dans l'UEMOA. Seules deux variables de contrôle sont significatives. Le taux d'investissement a un impact négatif sur les émissions de CO₂. Le taux d'ouverture, mesuré par la somme des exportations et des importations dans le PIB, a un effet positif. Le vecteur φ est donc ici non nul. Nous en déduisons que le coefficient β mesure la convergence conditionnelle, qui n'est pas significatif.

Tableau II.3 : Convergence conditionnelle des émissions de CO₂ par tête

Variable endogène : log(CO₂/tête)

CO₂_t	SANS EFFETS SPATIAUX				AVEC EFFETS SPATIAUX					
					SDM			SAR		
	Pooled	Within	GMM	Sys-GMM	GMM	Sys-GMM	ML	GMM	Sys-GMM	ML
Const	276, 77*** (0.00)	389, 66*** (0.00)	416, 03*** (0.00)	339, 89*** (0.00)	207, 18*** (0.00)	224, 44*** (0.00)	-	205, 45*** (0.00)	230, 08*** (0.00)	-
ρ (SAR)					0, 03 (0.29)	0, 03 (0.18)	0, 12*** (0.00)	0, 0356** (0.01)	0, 0355 (0.79)	-0, 05*** (0.00)
λ (SDM)							0, 05 (0.30)	0, 14*** (0.00)	0, 10*** (0.00)	
ln(co2 _{t-1})	0, 9919*** (0.00)	0, 99*** (0.00)	0, 988*** (0.00)	0, 986*** (0.00)	1, 013 (0.22)	1, 29*** (0.00)	0, 996 (0.15)	1, 17* (0.09)	1, 9*** (0.00)	0, 992 (0.21)
ln(s)	0, 045 (0.56)	-0, 26** (0.03)	-0, 19*** (0.00)	0, 011 (0.88)	-0, 05 (0.15)	-0, 06* (0.07)	-0, 07** (0.03)	0, 03 (0.31)	-0, 053 (0.109)	-0, 054* (0.05)
ln(n)	-0, 15** (0.02)	-0, 08 (0.21)	-0, 13*** (0.00)	0, 014 (0.79)	-0, 30*** (0.00)	-0, 31*** (0.00)	-0, 007 (0.52)	0, 30*** (0.00)	-0, 31*** (0.00)	-0, 008 (0.62)
ln(tf)	-0, 22*** (0.0)	-0, 28*** (0.00)	-0, 34*** (0.00)	-0, 55*** (0.00)	-0, 26*** (0.00)	-0, 26*** (0.46)	-0, 13 (0.00)	-0, 27*** (0.00)	-0, 27*** (0.47)	0, 008 (0.51)
ln(ts)	-0, 29*** (0.00)	-0, 07*** (0.00)	-0, 85*** (0.00)	-0, 42*** (0.00)	-0, 097*** (0.00)	-0, 11*** (0.00)	-0, 09** (0.04)	-0, 12*** (0.00)	-0, 12*** (0.00)	0, 06 (0.12)
ln(ouv)	0, 03 (0.38)	0, 03 (0.53)	0, 09*** (0.00)	0, 19*** (0.00)	0, 021 (0.43)	0, 025 (0.35)	0, 03** (0.03)	0, 015 (0.59)	0, 022 (0.41)	0, 029* (0.09)
Vitesse	1, 04 %	1, 36 %	1, 76 %	2, 14 %	NS	DIV	NS	DIV	DIV	NS
R ²	0.25	0.46			0.47	0.53	0.69	0.49	0.54	0.68
AR(1)			-9, 24*** (0.00)	-12, 57*** (0.00)	-16, 69*** (0.00)	-16, 36*** (0.00)		-15, 79*** (0.00)	-15, 22*** (0.00)	
AR(2)			-2, 34*** (0.00)	-6, 82*** (0.00)	2, 66 (0.10)	2, 04 (0.15)		2, 37 (0.12)	2, 17 (0.14)	
Sargan test			-325, 82*** (0.00)	-444, 76*** (0.00)	220, 36 (0.96)	270, 60 (0.85)		220, 01 (0.95)	277, 11 (0.82)	

Notes : (*), (**) et (***) indiquent la significativité aux seuils de 10%, 5% et 1% respectivement. Les P-value sont entre parenthèses. NS = Non Significatif. DIV indique une situation de divergence

Nous calculons les effets directs, indirects et totaux des variables explicatives, les résultats sont donnés dans le tableau II.4 ci-dessous :

Tableau II.4 : Effets directs, indirects et totaux sur les émissions de CO₂ par tête

	SDM			SAR		
Effets	<i>Directs</i>	<i>Indirects</i>	<i>Totaux</i>	<i>Directs</i>	<i>Indirects</i>	<i>Totaux</i>
Investissement [ln(s)]	-0,087*** (0.00)	0,039** (0.02)	-0,048*** (0.00)	-0,054* (0.05)	0,013* (0.07)	-0,041** (0.04)
Scolarisation [ln(ts)]	-0,042** (0.01)	-0,018** (0.03)	-0,050*** (0.00)	-0,06* (0.06)	-0,014* (0.06)	-0,046* (0.07)
Taux d'ouvert. [ln(ouv)]	0,017* (0.05)	-0,008* (0.07)	0,009* (0.05)	0,029* (0.09)	-0,006* (0.08)	0,023* (0.09)

Les effets directs, indirects et totaux des variables population et développement financier ne sont pas significatifs, nous les avons omis donc dans le tableau des résultats. Ces variables n'ont pas d'impact sur les émissions de CO₂ dans l'Union, ce qui est en conformité avec les résultats des coefficients estimés. Le taux d'investissement a, au contraire, au niveau des deux modèles des effets significatifs. Ses effets directs sont négatifs et dominant, en valeur absolue, les effets indirects positifs. D'un côté l'accroissement des investissements dans un pays de l'UEMOA a un impact négatif sur ses émissions de CO₂ mais aussi sur les émissions de CO₂ de ses voisins, membres de l'Union. De l'autre côté, l'accroissement des investissements dans les pays voisins à un pays tiers de l'Union a un impact moyen positif sur les émissions de CO₂ de ce dernier. Les effets directs sont plus de deux fois importants en intensité que les effets indirects, il s'en suit que les effets totaux sont négatifs. Les effets directs et indirects du taux de scolarisation sont significatifs et négatifs ce qui est en conformité avec les résultats du tableau II.3. Comme dans le cas des investissements, les effets directs ont une amplitude plus importante que celle des effets indirects avec le même signe négatif. Ce qui implique que le taux de scolarisation ait un impact total moyen négatif plus important sur les émissions de CO₂. Une évolution positive du taux de scolarisation dans l'UEMOA permet de réduire les émissions de CO₂. Les effets du taux d'ouverture sont significatifs. Les effets directs sont significativement

positifs et plus importants en intensité que les effets indirects qui sont significativement négatifs, il s'en suit que les effets totaux sont positifs. Ce résultat nous ramène à l'hypothèse du Havre de pollution. En effet, l'UEMOA constituée de pays en voie de développement peut être considérée comme une petite économie avec une externalité de production qui s'ouvre aux échanges avec l'extérieur. D'un côté, il peut y avoir des effets de composition qui conduisent à des spécialisations guidées par les avantages comparatifs. Une spécialisation dans des biens « propres » fait baisser la pollution contrairement à la spécialisation dans des biens polluants. De l'autre côté, le laxisme de la réglementation environnementale est un facteur de localisation, qui amène les industries polluantes à quitter les pays du Nord pour s'installer dans les pays du Sud.

Il ressort que la convergence conditionnelle du PIB par tête existe, ce qui confirme le processus de rattrapage des pays de la zone UEMOA. Chaque pays converge vers son état stationnaire, toutefois, les pays à revenu plus faible évoluent plus vite et à terme il y aura un phénomène de rattrapage. Ce qui n'est pas systématiquement le cas pour les émissions de CO₂ par tête, la convergence conditionnelle n'existant pas en présence d'effets spatiaux. Ces derniers ont eu un impact inhibiteur sur la convergence des émissions de CO₂, mais un impact positif sur le processus de convergence conditionnelle du PIB. Les effets totaux moyens des variables explicatives sont globalement positifs sur le PIB par tête (investissement, développement financier et la population), mais négatifs sur les émissions de CO₂ par tête (investissement et taux de scolarisation), sauf le taux d'ouverture qui a un effet positif sur les émissions de CO₂.

Les résultats de l'estimation de la convergence du PIB par tête et des émissions de CO₂ dans un régime spatial dans cette partie sont obtenus avec une matrice de contiguïté. Les effets frontières sont dans ce cas liés au partage d'une frontière commune. Les résultats sont-ils les mêmes avec une matrice distance ?

V – SENSIBILITE DES RESULTATS A LA MATRICE DE POIDS

Dans la section précédente, nous avons estimé le modèle de convergence avec effets spatiaux où les variables ont été spatialement décalées avec la matrice de contiguïté de la zone UEMOA. Il existe dans la littérature deux manières d'évaluer les connections géographiques. Celle que nous avons considérée dans la section précédente, l'indicateur de contiguïté, suppose que deux régions ne peuvent avoir des interactions que si elles partagent en commun une frontière. La seconde façon de construire la matrice de poids suppose que l'intensité des interactions entre des régions dépend de la distance entre les centres de gravité de ces régions ou entre les capitales des régions, Baumont & Le Gallo (2000). La matrice de poids ainsi construite est appelée, matrice de distance. Il appartient toutefois à l'utilisateur de la matrice de définir la distance et de choisir la forme fonctionnelle à donner aux éléments de la matrice de poids. Dans notre cas, nous prenons la distance d_{ij} en kilomètres entre les capitales des pays membres de l'UEMOA (distance par la route), d'une part et pour chaque élément w_{ij} de la matrice de poids, $w_{ij} = 1/d_{ij}$. En procédant ainsi, nous supposons que les activités économiques des pays sont concentrées dans leurs capitales respectives ; ce qui est vraisemblable dans la zone UEMOA. Il existe généralement dans ces pays un nombre très limité de grands axes routiers le long desquels se développent des activités et des agglomérations.

Dans cette section nous réestimons la convergence spatiale du PIB par tête et des émissions de CO₂ par tête dans l'UEMOA avec une matrice de distance définie comme indiqué ci-dessous, puis comparons les résultats de l'estimation à ceux obtenus avec la matrice de contiguïté. L'objectif ici est d'analyser la sensibilité des résultats au type de matrice de poids.

$$\begin{cases} w_{ij} = 0 \text{ si } i = j \\ w_{ij} = 1/d_{ij} \text{ si } i \neq j \end{cases}$$

Où d_{ij} est la distance en kilomètre entre les capitales des pays i et j .

L'estimation de la convergence spatiale avec une matrice de distance, donne des résultats (en annexe) globalement semblables à ceux obtenus avec la matrice de contiguïté. En effet, les pays de l'UEMOA convergent vers leur niveau de revenu par tête d'équilibre de long terme ; confirmant ainsi le processus de rattrapage. Du côté des émissions de CO₂, il n'y a pas de convergence et par conséquent le processus de rattrapage est inexistant. Ce qui indique que les résultats ne sont pas systématiquement influencés par le choix de la matrice de poids (matrice de contiguïté ou matrice de distance). Nos résultats sont en conformité avec ceux de Baumont & Le Gallo (2000). Elles ont montré avec une simple matrice de contiguïté et quatre différentes matrices de distance, que la configuration globale des résultats est quasiment la même ; le processus de convergence n'est pas influencé entre les régions de l'Europe.

Les résultats de l'estimation du modèle de convergence avec une matrice distance ne contredisent pas ceux obtenus avec une matrice de contiguïté dans la zone UEMOA. En effet, l'existence de convergence conditionnelle du PIB par tête et l'absence de convergence conditionnelle des émissions de CO₂ sont confirmées. Cette absence de sensibilité des résultats à la matrice de poids prouve la robustesse de nos résultats.

Tableau II.5 : Récapitulatif des résultats de l'analyse de la convergence

	SANS EFFETS SPATIAUX	AVEC EFFETS SPATIAUX	VARIABLES DE CONTROLE		OBSERVATIONS
	<i>Convergence conditionnelle</i>	<i>Convergence conditionnelle</i>	<i>Effets directs</i>	<i>Effets indirects</i>	
PIB par tête	Oui $\vartheta=0.8 \%$ DV = 98 ans	Oui $\vartheta=1.85$ DV = 44	Positifs (investissement, population et développement financier)	Négatifs (investissement, population et développement financier)	Coefficients ρ et γ sont significatifs avec un apport de gain de vitesse de convergence conditionnelle de plus de 1 % par an.
CO₂ par tête	Oui $\vartheta=1.36 \%$ DV = 66 ans	Non	Négatifs (investissement) taux de Scolarisation et aux d'ouverture)	Positifs (investissement) Négatifs (taux de scolarisation et taux d'ouverture)	Coefficients ρ et γ sont significatifs avec un effet d'inhibition sur le processus de convergence conditionnelle.

VI – CONCLUSION

Ce chapitre analyse la relation croissance – environnement dans un cadre dynamique de croissance. Elle est effectuée à travers la notion de convergence du revenu réel et celle des émissions de CO₂ par habitant par le Green Solow Model (GSM), avec une prise en compte de la dimension spatiale dans la zone UEMOA entre 1970 et 2010. La convergence est définie comme la réduction de la différence ou de la dispersion entre des séries dans le temps. Plusieurs notions de convergence existent. La convergence absolue concerne l'évaluation de la tendance au rapprochement des niveaux de vie de différentes économies dans le temps et renvoie à la notion de rattrapage des économies. La convergence conditionnelle s'entend comme l'évolution de chaque économie vers son propre sentier de croissance. Toutefois les deux notions sont liées par le concept de sentier de croissance des pays étudiés.

Au terme de l'analyse de la convergence du PIB par tête et des émissions de CO₂ par tête dans la zone UEMOA, nous pouvons élaborer un tableau récapitulatif des résultats obtenus, tableau II.5. Plusieurs conclusions peuvent être tirées de ce tableau. (i) Il apparaît globalement que l'hypothèse de convergence est clairement vérifiée pour le PIB par tête dans l'UEMOA, mais elle ne l'est pas pour les émissions de CO₂. En effet, il y a convergence conditionnelle du PIB par tête avec ou sans la prise en compte des effets frontières. Dans le cas du CO₂, il y a convergence conditionnelle lorsque la dépendance spatiale est ignorée et absente lorsqu'elle est prise en compte. (ii) Les effets frontières ont un impact inhibiteur sur le processus de convergence conditionnelle des émissions de CO₂ par tête dans l'Union. Mais ces effets frontières constituent un facteur de renforcement et d'accélération du processus de convergence conditionnelle du PIB par tête. (iii) Les variables de contrôle, le taux d'investissement, le taux de croissance de la population, le développement financier, ont des effets totaux significativement positifs sur le PIB par tête. Sur les émissions de CO₂ par tête, seuls l'investissement et le taux de scolarisation ont des effets totaux significativement négatifs. (iv) Les effets directs des variables de contrôle ont de façon générale une amplitude plus importante que celle des effets indirects. Les effets directs des variables de contrôle sont positifs sur le PIB par tête et négatifs sur le CO₂

par tête, sauf le taux d'ouverture. Ces effets sont relativement proches des coefficients estimés, ce qui indique l'absence ou la faiblesse des effets de rétroaction. (v) Les coefficients ρ et γ sont significatifs, aussi bien pour le PIB que pour le CO₂, ceci justifie bien la nécessité de prendre en compte les effets de frontières pour estimer le coefficient de convergence dans l'UEMOA, au risque d'obtenir des résultats biaisés.

Comme précisé plus haut, la convergence fait référence au processus de rattrapage. Dans le cas de l'UEMOA comme dans toute union économique et dans un contexte de mondialisation, il est opportun de tenir compte des interactions entre les pays, ce qui a été empiriquement prouvé (ρ et γ significatifs). La vitesse de convergence conditionnelle indique la vitesse à laquelle le PIB par tête converge vers son niveau d'état stationnaire de long terme dans l'UEMOA et elle atteint 1.85% par an et le processus durera entre 44 ans. Ce qui n'est pas le cas pour les émissions de CO₂ par tête. Le rattrapage du revenu par tête dans l'union n'est pas suivi par celui des émissions de CO₂. Ce résultat correspond plutôt à une situation désirable. Toutefois, il laisse penser que l'intégration régionale dans cette zone est restée quasi économique et ne s'est pas encore étendue à d'autres secteurs tels que le secteur de l'environnement.

L'hétérogénéité des pays de l'Union constaté dans la relation croissance – environnement dans un cadre statique (chapitre I) est retrouvée aussi dans l'analyse dynamique de la relation.

ANNEXES DU CHAPITRE II

Annexe IIa : Convergence conditionnelle du PIB par tête (avec une matrice distance)

Variable endogène : log(PIB/tête)

PIB_t	SANS EFFETS SPATIAUX				AVEC EFFETS SPATIAUX					
					SDM			SAR		
	Pooled	Within	GMM	Sys-GMM	GMM	Sys-GMM	ML	GMM	Sys-GMM	ML
Const	97, 50*** (0.00)	-20, 63 (0.40)		53, 58*** (0.00)	51, 01*** (0.00)	55, 45*** (0.00)	-	41, 16*** (0.00)	40, 10*** (0.00)	-
ρ					0, 02 (0.19)	0, 01 (0.24)	0, 14*** (0.00)	-0, 02 (0.61)	0, 03** (0.01)	0, 15*** (0.00)
γ					0, 03** (0.04)	0, 03** (0.02)	0.03** (0.01)			
$\ln(y_{t-1})$	0, 9979*** (0.00)	0, 993*** (0.00)	0, 972*** (0.00)	0, 994*** (0.00)	0, 99*** (0.00)	0, 99*** (0.00)	0, 985** (0.04)	0, 99*** (0.00)	0, 99*** (0.00)	0.985*** (0.00)
$\ln(s)$	0, 17** (0.01)	0, 73*** (0.00)	0, 78*** (0.00)	0, 27*** (0.00)	0, 14*** (0.00)	0, 14*** (0.00)	0, 15** (0.01)	0, 13** (0.01)	0, 14*** (0.00)	0, 12*** (0.00)
$\ln(n)$	0, 06 (0.27)	0, 03 (0.59)	-0, 003 (0.78)	0, 04*** (0.00)	0, 23*** (0.00)	0, 25*** (0.00)	0, 26** (0.01)	0, 25*** (0.00)	0, 26*** (0.00)	0, 10** (0.03)
$\ln(tf)$	0, 36*** (0.00)	0, 28*** (0.00)	0, 39*** (0.00)	0, 69*** (0.00)	0, 34*** (0.00)	0, 40*** (0.00)	0, 15*** (0.00)	0, 34*** (0.00)	0, 31*** (0.00)	0, 02*** (0.00)
$\ln(ts)$	0, 05 (0.41)	0, 39*** (0.00)	0, 17*** (0.00)	0, 08*** (0.00)	-0, 06** (0.04)	-0, 06 (0.91)	0, 04 (0.20)	0, 05 (0.20)	0, 03 (0.23)	0, 03 (0.41)
$\ln(ouv)$	-0, 03 (0.57)	-0, 007 (0.99)	-0, 08*** (0.00)	-0, 15*** (0.00)	-0, 03 (0.33)	-0, 07 (0.24)	0, 01 (0.16)	0, 02 (0.52)	0, 02 (0.41)	0, 01 (0.50)
Vitesse	0, 22 %	0, 8 %	DIV	0, 71 %	1, 28 %	1, 28 %	2, 32 %	1, 28 %	1, 28 %	2, 32 %
R ²	0.39	0.56			0.61	0.43	0.64	0.34	0.38	0.68
AR(1)			-7, 21*** (0.00)	-9, 75*** (0.00)	-4, 30*** (0.00)	-3, 09*** (0.00)		-5, 72*** (0.00)	-4, 01*** (0.00)	
AR(2)			1, 83* (0.054)	1, 93* (0.054)	2, 01 (0.33)	2, 07 (0.25)		0, 80 (0.21)	0, 72 (0.50)	
Sargan test			301, 42* (0.07)	325, 36* (0.050)	214, 29 (0.85)	240, 47 (0.83)		203, 00 (0.86)	206, 53 (0.62)	

Notes : (*), (**) et (***) indiquent la significativité aux seuils de 10%, 5% et 1% respectivement. ML = Maximum de Vraisemblance. Les P-value sont entre parenthèses. DIV indique une situation de divergence

Annexe IIb : Convergence conditionnelle des émissions de CO₂ par tête (avec une matrice distance)

Variable endogène : log(CO₂/tête)

CO₂_t	SANS EFFETS SPATIAUX				AVEC EFFETS SPATIAUX					
					SDM			SAR		
	Pooled	Within	GMM	Sys-GMM	GMM	Sys-GMM	ML	GMM	Sys-GMM	ML
Const	276, 77*** (0.00)	389, 66*** (0.00)	416, 03*** (0.00)	339, 89*** (0.00)	221, 18*** (0.00)	181, 01*** (0.00)	-	174, 12*** (0.00)	204, 52*** (0.00)	-
ρ (SAR)					0, 03 (0.60)	0, 03 (0.58)	0, 15*** (0.00)	0, 059** (0.01)	0, 06 (0.79)	- 0, 05*** (0.00)
λ (SDM)							0, 05 (0.30)	0, 14*** (0.00)	0, 10*** (0.00)	
ln(co2 _{t-i})	0, 9919*** (0.00)	0, 99*** (0.00)	0, 988*** (0.00)	0, 986*** (0.00)	1, 13 (0.41)	1, 04*** (0.00)	0, 896 (0.27)	1, 01** (0.04)	1, 11*** (0.00)	0, 82 (0.21)
ln(s)	0, 045 (0.56)	-0, 26** (0.03)	-0, 19*** (0.00)	0, 011 (0.88)	-0, 04* (0.08)	-0, 06* (0.07)	-0, 04** (0.03)	0, 03 (0.31)	-0, 04 (0.22)	-0, 04* (0.05)
ln(n)	-0, 15** (0.02)	-0, 08 (0.21)	-0, 13*** (0.00)	0, 014 (0.79)	-0, 30*** (0.00)	-0, 31*** (0.00)	-0, 07 (0.16)	0, 30*** (0.00)	-0, 30*** (0.00)	-0, 04 (0.32)
ln(tf)	-0, 22*** (0.0) (0.00)	-0, 28*** (0.00)	-0, 34*** (0.00)	-0, 55*** (0.00)	-0, 26*** (0.00)	-0, 26*** (0.46)	-0, 13 (0.00)	-0, 27*** (0.00)	-0, 27*** (0.47)	0, 08 (0.54)
ln(ts)	-0, 29*** (0.00)	-0, 07*** (0.00)	-0, 85*** (0.00)	-0, 42*** (0.00)	-0, 13*** (0.00)	-0, 11*** (0.00)	-0, 1** (0.04)	-0, 12*** (0.00)	-0, 12*** (0.00)	0, 06 (0.20)
ln(ouv)	0, 03 (0.38)	0, 03 (0.53)	0, 09*** (0.00)	0, 19*** (0.00)	0, 02 (0.13)	0, 02 (0.15)	0, 03** (0.01)	0, 01 (0.25)	0, 02 (0.71)	0, 10 (0.24)
Vitesse	1, 04 %	1, 36 %	1, 76 %	2, 14 %	NS	DIV	NS	DIV	DIV	NS
R ²	0.25	0.46			0.51	0.50	0.71	0.50	0.54	0.75
AR(1)			-9, 24*** (0.00)	-12, 57*** (0.00)	-12, 01*** (0.00)	-12, 16*** (0.00)		-15, 85*** (0.00)	-15, 72*** (0.00)	
AR(2)			-2, 34*** (0.00)	-6, 82*** (0.00)	2, 16 (0.13)	2, 04 (0.20)		2, 30 (0.22)	2, 13 (0.19)	
Sargan test			-325, 82*** (0.00)	-444, 76*** (0.00)	202, 01 (0.74)	200, 19 (0.55)		220, 12 (0.81)	272, 84 (0.80)	

Notes : (*), (**) et (***) indiquent la significativité aux seuils de 10%, 5% et 1% respectivement. Les P-value sont entre parenthèses. NS = Non Significatif. DIV indique une situation de divergence

CONCLUSION DE LA PARTIE 1

Dans cette partie, il s'est agit essentiellement d'évaluer la relation entre la croissance et la pollution dans la zone UEMOA, plus spécifiquement la relation entre le PIB par tête et les émissions de CO₂ entre 1970 et 2010. Cette analyse a été faite de deux manières différentes qui sont complémentaires. La première méthode considérée comme statique, a consisté à rechercher la position de l'Union sur la courbe de Kuznets Environnementale. Cette dernière stipule que dans le processus de développement, la pollution augmente d'abord avec la croissance économique avant de baisser après avoir atteint un niveau maximum, décrivant ainsi une relation en forme de « U » inversé. La deuxième méthode a recherché la relation PIB – CO₂ dans un cadre plus dynamique de croissance économique, avec une prise en compte des effets d'interaction spatiale.

Il est apparu d'un côté que la forme de la relation PIB – CO₂ n'est pas uniforme dans l'UEMOA. En effet, nous avons trouvé que l'hypothèse EKC n'est pas vérifiée dans tous les pays. Les pays dans lesquels elle vérifiée, le point de retournement reste indéterminé. Nous en avons déduit que la zone UEMOA est caractérisée par l'hétérogénéité des pays, et l'Union se situe sur la partie ascendante de l'EKC. En d'autres termes, la relation PIB – CO₂ est positive.

De l'autre côté, l'analyse de la relation PIB – CO₂ dans un cadre dynamique de croissance à travers la convergence du PIB par tête et la convergence des émissions de CO₂ par tête a permis de confirmer l'hétérogénéité des pays de l'Union, qui viendrait du côté du CO₂. En effet, les résultats ont montré qu'il y a une convergence du PIB par tête, alors qu'il n'y a pas de convergence des émissions de CO₂. Le rattrapage du PIB par tête n'est pas suivi par celui des émissions de CO₂.

Les résultats ont montré que la dépendance spatiale a un effet positif sur la convergence du PIB par tête, elle fait gagner plus d'un point de vitesse de convergence. En revanche, elle a un effet d'inhibition sur la convergence des émissions de CO₂.

Dans la suite des travaux, nous tenons compte de l'hétérogénéité de l'Union et menons les analyses pays par pays.

PARTIE 2

CROISSANCE-ENVIRONNEMENT : UNE ANALYSE PAR PAYS

INTRODUCTION DE LA PARTIE 2

Nous avons pu montrer dans la partie 1, grâce à une analyse par le Green Solow Model (GSM), qu'il n'y a pas de convergence entre pays, des émissions de CO₂, dans l'UEMOA. Rappelons que le GSM est inspiré du modèle de croissance de Solow lui-même fondé sur les hypothèses de rendements décroissants du capital et de progrès technologique dans la production, clefs de la convergence. Le GSM fournit une explication théorique de la relation empirique entre le niveau du revenu et la qualité de l'environnement dont une forme particulière est l'EKC. Ainsi l'on peut en déduire que l'absence de convergence pourrait être liée au fait que l'hypothèse EKC ne soit pas vérifiée dans la zone UEMOA entre 1970 et 2010. En effet nous avons montré, d'une part, que l'EKC n'est pas vérifiée dans l'Union, mais nous n'avons pu trouver d'autre part, aucune des formes de relations hypothétiques définies dans la littérature.

L'analyse de l'élasticité revenue des émissions de CO₂, à travers l'indice decoupling, les écarts, relativement grands, entre les effets individuels estimés dans le modèle de l'EKC et l'absence de convergence des émissions de CO₂ indiquent bien qu'il y a une hétérogénéité des pays dans l'Union. Il est donc nécessaire de tenir compte de cette hétérogénéité dans la recherche de solutions pour une meilleure maîtrise des émissions de polluants dans l'UEMOA dans sa dynamique de croissance.

Théoriquement et empiriquement l'énergie est considérée comme un facteur de production mais aussi comme une source de pollution. Dans cette partie, nous analysons la relation croissance - énergie - environnement dans chacun des pays de l'UEMOA. Dans un premier temps nous étudions les liens de causalité entre les variables PIB par tête, consommation d'énergie par tête et émissions de CO₂ par tête, dans le chapitre III. Ce qui nous permet d'établir les triangles de causalité de long terme. Puis dans le chapitre IV, nous analysons les effets des chocs d'offre et des chocs énergétiques sur l'environnement et la croissance pour chaque pays de l'Union.

CHAPITRE III

CAUSALITE ENTRE PIB, ENERGIE ET CO₂

CHAPITRE III : CAUSALITE ENTRE PIB, ENERGIE ET CO2

I – INTRODUCTION

Partout dans le monde, la question du réchauffement climatique est abordée avec beaucoup d'intérêt et d'inquiétude. Selon l'IPCC, le Panel Intergouvernemental sur le Changement Climatique, le réchauffement climatique est le plus important problème environnemental de notre temps, provoqué par les émissions de gaz à effet de serre, surtout le CO₂ (environ 60 %) provenant essentiellement de l'utilisation des énergies fossiles (Mehra, 2007). La menace du réchauffement climatique et du changement climatique a été l'une des questions dominantes pendant les trois dernières décennies aussi bien sur le plan politique qu'économique (Aspergis & Payne, 2010). Face à cette menace, la question qui se pose aux chercheurs est : comment atténuer les effets néfastes du changement climatique ? Le sommet international sur le développement durable, Johannesburg (2002) a souligné l'influence néfaste de l'énergie sur l'environnement d'une part, mais aussi son importance dans le processus de développement économique. L'énergie est considérée comme l'outil indispensable pour le développement durable. Dans ces conditions, la détermination du lien de causalité entre la consommation d'énergie, la croissance économique et les émissions de polluants a une importance particulière pour les chercheurs et les responsables ou décideurs. En effet, elle permet d'en déduire les implications de politiques énergétiques, économiques et environnementales adéquates pour atteindre l'objectif de développement durable. La relation entre la croissance économique et les émissions de polluants ¹⁴ est étroitement liée à la relation entre la consommation d'énergie et les émissions de polluants (Ozturk & Uddin, 2012). Restreindre la consommation d'énergie aura pour effets de freiner les émissions de polluants d'une part, mais aussi de freiner la croissance économique d'autre part. Toutefois, le lien de causalité énergie-croissance-pollution peut varier pour un pays dans le temps ou d'un pays à un autre, dans la mesure où il peut dépendre d'autres facteurs tels

14. Voir Dinda (2004) sur l'EKC ou le chapitre 1

que la structure de l'économie, l'intensité des échanges commerciaux, etc. A la suite de l'analyse de la convergence du revenu par tête et des émissions de CO₂ d'une part, de l'hypothèse EKC d'autre part, une interrogation a émergée. Celle-ci peut s'exprimer de façon synthétique comme il suit : les performances énergétiques, environnementales et économiques sont-elles liées dans la zone UEMOA ? S'agit – il de relations unidirectionnelles ou bidirectionnelles ?

Selon Angeloni et al. (2003), connaître les mécanismes de transmission d'une politique permet aux décideurs de surveiller correctement l'état de l'économie, de prendre les décisions adaptées de politiques économiques et d'expliquer au public l'intérêt de ces décisions. Dans la littérature, l'étude du lien tripartite entre la croissance, la consommation d'énergie et la pollution est quasi inexistante dans les pays de l'UEMOA. Ce qui justifie l'intérêt de ce chapitre.

Ce chapitre a pour objectif de renseigner les influences mutuelles des variables en question dans les pays de l'UEMOA. Toutefois la théorie économique établit quatre liens hypothétiques entre la consommation d'énergie et le produit intérieur. Ce sont : l'hypothèse de neutralité, l'hypothèse de croissance, l'hypothèse de rétroaction et l'hypothèse de conservation. Entre le produit et la qualité de l'environnement, la théorie économique a défini des formes de relation diverses. Il s'agit de la relation linéaire (positive ou négative) à la relation en forme de « U » inversé dite hypothèse de Kuznets en passant par la relation en forme de « N », en forme de « N » inversé et enfin la relation nulle. Aussi, depuis plus d'un demi-siècle, les spécialistes de l'énergie et de l'environnement établissent ou font un lien plus ou moins évident dans leurs analyses et commentaires entre la dégradation persistante de l'environnement et l'utilisation accrue de l'énergie. Tous ces liens de causalité théoriques ou analytiques interpellent d'une part, sur les dangers de l'action humaine et appellent d'autre part, à des mesures pour assurer le bien être des générations dans le temps. Une difficulté se trouve dans le fait que ces liens ne sont pas uniformes aussi bien dans le temps que dans l'espace (géographie). Ce qui

justifie aussi l'intérêt de cette partie. En effet nous étudions ici le sens et l'intensité de l'influence des variables PIB réel, consommation d'énergie par tête et émissions de CO₂ par tête dans la zone UEMOA les unes sur les autres.

La suite du chapitre est structurée de la façon suivante, la section II fait une revue de littérature sur le lien énergie-croissance-pollution. La section III présente le modèle et la méthodologie. La section IV commente les résultats des estimations en se focalisant sur la vitesse d'ajustement de long terme. La section V prend en compte l'hétérogénéité dans les pays et le biais d'endogénéité dans les régresseurs et estime les relations de long terme. La section VI conclut.

II – LE LIEN DE CAUSALITE ENERGIE, CROISSANCE ET ENVIRONNEMENT : UNE REVUE DE LITTERATURE

La relation entre la consommation d'énergie et la croissance économique, de même que la relation entre la croissance économique et les émissions de polluants, ont fait l'objet de nombreuses investigations durant ces trois dernières décennies. Il y a eu principalement trois axes de recherches dans la littérature. Le premier axe de recherche est la relation entre la croissance économique et la consommation d'énergie. Le deuxième axe a concerné la relation entre la croissance économique et la pollution. Enfin, le troisième axe combine les deux premiers axes en étudiant simultanément la relation entre la croissance économique, la consommation d'énergie et la pollution dans un même modèle.

Le lien croissance économique et énergie a été largement étudié. Les résultats empiriques de ces études, de façon générale, sont très variés et souvent contradictoires, (voir tableaux a1 et a2 des annexes). Ils semblent différents sur l'existence et la direction du lien de causalité et sur leurs implications de politique énergétique de court terme et de long terme. Ces implications de politiques énergétiques peuvent significativement dépendre du type de causalité qui existe entre la consommation d'énergie et le taux de croissance (Ozturk, 2010). Le manque de consensus dans les résultats des études portant

sur un même pays ou une même zone géographique se trouve donc lié aux différences méthodologiques et / ou aux différences de bases de données prises en compte. Par exemple Kraft & Kraft (1978), avec des données annuelles entre 1947 et 1974, ont trouvé par la méthode de Granger qu'aux Etats-Unis la croissance « Granger cause » l'énergie. Cependant, Yu & Hwang (1984) n'ont trouvé aucun lien entre 1947 et 1979 par la technique de Sim. Par la méthode de correction d'erreurs, Hwang & Gum (1991) ont montré qu'à Taïwan entre 1961 et 1990, la relation est bidirectionnelle entre l'énergie et la croissance, tandis que Cheng & Lai (1997) entre 1954-1993 ont trouvé que la relation est unidirectionnelle du PIB vers l'énergie. Lee (2005) et Lee & Chang (2007b) ont trouvé des résultats opposés pour les pays en voie de développement. Lee (2005) par un VECM sur la période 1975-2001 a trouvé que l'énergie « Granger cause » la croissance. Pour Lee & Chang (2007b) la relation est plutôt dans le sens croissance vers énergie, par la méthode VAR et GMM entre 1965-2002. Deux études sur la Corée ont aussi eu des résultats contradictoires, Glasure (2002) avec des données annuelles entre 1961 et 1990 a trouvé une relation bidirectionnelle, l'énergie et le PIB s'influencent mutuellement, mais Oh & Lee (2004) ont trouvé une relation de causalité unidirectionnelle, l'énergie cause le PIB entre 1970 et 1999. Dans les pays du G-7, Soytas & Sari (2006), dans une étude qui a couvert la période 1960-2004, ont déterminé l'existence de trois formes de lien, le PIB cause l'énergie en Allemagne, l'énergie cause le PIB en France et aux Etats-Unis et enfin l'énergie et le PIB s'influencent mutuellement en Italie, au Canada, au Japon et en Angleterre. De leur côté Narayan & Smith (2008) n'ont trouvé qu'un seul sens dans les pays du G-7, l'énergie cause le PIB dans leur étude couvrant la période 1972-2002. Aspergis & Payne (2009) ont eux démontré la possibilité de l'évolution de la relation de causalité dans le temps. En effet, par leurs travaux sur des pays du Commonwealth, ils ont démontré qu'entre l'énergie et le produit, le lien de causalité est unidirectionnel dans le court terme, l'énergie cause le produit et il est bidirectionnel dans le long terme.

Pour des zones géographiques distinctes, la diversité du sens du lien de causalité peut être due aux caractéristiques des pays telles que l'approvisionnement en énergie locale, l'histoire politique et économique, les différences institutionnelles et culturelles, les

politiques énergétiques mises en œuvre, etc. (Chen et al, 2007). Selon Ighodaro (2010), l'absence de consensus sur le sens de causalité entre la consommation d'énergie et la production entre les économies pourrait être due à la différence des caractéristiques de consommation d'énergie aussi bien que les sources de l'énergie, ce qui pourrait avoir des impacts variés sur la croissance économique. En effet, par des méthodes d'analyse très proches, Cheng & Lai (1997) montrent que la relation de causalité est dans le sens croissance-énergie à Taïwan, Stern (2000) trouve que l'énergie cause la croissance aux Etats-Unis, Fatai et al. (2004) ne trouvent aucun lien de causalité pour la Nouvelle Zélande tandis que Ghali et El-Sakka (2004) trouvent qu'elle est bidirectionnelle au Canada. Ces pays sont différents les uns des autres en ce qui concerne le secteur énergétique. Seul le Canada est un exportateur net d'énergie et il a aussi le plus haut niveau d'intensité énergétique, avant les Etats-Unis, la Nouvelle Zélande et le Taïwan. En revanche le Taïwan a le taux de croissance de l'intensité énergétique le plus élevé, 0.28 en 2009 contre 0.21 pour le Canada et 0.17 pour les Etats-Unis et la Nouvelle Zélande.

Depuis que l'idée de l'étude du lien de causalité entre la consommation d'énergie et la croissance a été introduite par Kraft & Kraft (1978), plusieurs travaux ont porté sur cet exercice. Dans la littérature, la direction de la relation de causalité entre ces deux variables est définie en quatre catégories, chacune ayant d'importantes implications de politiques énergétiques (Ozturk, 2010 ; Aspergis & Payne, 2009a ; Squalli, 2007 ; Chen et al., 2007 ; Mozumder & Marathe, 2007 ; Yoo, 2005 ; Jumbe, 2004 ; Shiu & Lam, 2004). Les quatre relations hypothétiques définies dans la littérature sont les suivantes :

1 – L'hypothèse de neutralité : elle stipule qu'il n'existe aucune relation de causalité entre la consommation d'énergie et le taux de croissance économique. Ces deux variables ne sont donc pas corrélées. Ceci implique que ni une politique de conservation d'énergie (restrictive en énergie), ni une politique intensive en énergie n'influence le niveau de création de richesse d'une économie.

2 – L'hypothèse de conservation : elle stipule qu'il existe une relation de causalité unidirectionnelle de la croissance vers la consommation d'énergie. En d'autres termes plus de croissance entraîne un accroissement de la consommation d'énergie. Ce qui implique qu'une politique énergétique restrictive peut être mise en œuvre dans une économie sans effets pervers sur la croissance.

3 – L'hypothèse de croissance : cette hypothèse indique qu'il existe une relation unidirectionnelle qui part de la consommation d'énergie vers la croissance économique. Elle suppose que la consommation d'énergie joue un rôle primordial aussi bien directement qu'indirectement dans le processus de production. L'énergie est ici considérée comme un facteur de production complémentaire aux facteurs habituels que sont le capital et le travail. Dans ces conditions, la politique énergétique mise en œuvre influence le niveau de production.

4 – L'hypothèse de rétroaction ou de « feedback »: ici, il existe un lien de causalité bidirectionnelle entre la consommation d'énergie et la croissance. Les deux s'influencent mutuellement. Ce qui implique que les politiques énergétiques et économiques devront être mises en œuvre conjointement.

Okey (2009) a établi une relation bidirectionnelle, hypothèse de rétroaction, dans le court terme entre l'énergie et le PIB sur la période 1970-2005 par des tests de cointégration et de causalité de Granger dans quatre pays de l'UEMOA. Ce qui impliquerait que chacun de ces pays peut mettre en œuvre les politiques économiques et énergétiques conjointement. Nous avons toutefois indiqué plus haut que les résultats de l'étude du lien de causalité sont influencés par l'étendue de la période considérée et la méthodologie utilisée. Notre étude a par conséquent, tout un intérêt dans la mesure où elle couvre la période 1970-2010 ; elle porte sur les sept pays membres fondateurs de l'UEMOA.

Le deuxième axe de recherches s'est focalisé sur le lien de causalité entre la croissance économique et les émissions de polluants. La littérature sur la qualité de l'environnement et la croissance économique dans le cadre de la vérification de l'existence

ou la validité de la courbe de Kuznets environnementale (EKC). Les travaux précurseurs de Kuznets (1955) qui ont établi une relation en forme de « U » inversé entre la croissance économique et les inégalités de revenu, ont été reformulé pour retrouver cette forme de relation entre la croissance économique et la qualité de l'environnement. Dans ce contexte, Grossman & Krueger (1991) ont été les premiers à tester l'EKC. Ils ont été suivis par plusieurs autres auteurs ¹⁵, entre autres Shafiq (1994), Heil & Selden (1999), Friedl & Getzner (2003), Dinda & Coondoo (2006), Ang (2007), Acaravci & Ozturk (2010), Pao & Tsai (2011). Toutefois les conclusions sont diversifiées et souvent contradictoires et dans la plupart des cas, l'EKC n'est pas observée. Selden & Song (1994), Galeotti, Manera & Lanza (2009), Tunc et al. (2009), Ozturk (2010) ont pu démontrer dans différentes économies la validité de l'EKC. En revanche, Holtz-Eakin & Selden (1995) trouvent une relation monotone et positive entre la croissance économique et la pollution, d'une part et Friedl & Getzner (2003), une relation en forme de « N » inversé, d'autre part. De leur côté, Agras & Chapman (1999), Richmond & Kaufman (2006) etc., concluent à une relation neutre.

Le troisième axe de recherche qui a émergé, combine les deux précédents et analyse simultanément la relation entre les trois variables croissance-énergie-pollution.

Certaines des récentes investigations de cette approche ont été menées par exemple par Soytaş et al. (2007), Akbostanci et al. (2009), Soytaş & Sari (2009), Zhang & Cheng (2009), Jalil & Mahmud (2009), Ozturk & Acaravci (2010), Apergis & Payne (2010), Alam et al. (2011) etc.

Par exemple Izzyan et al. (2013) ont analysé le lien de causalité entre la consommation d'énergie, la croissance économique et les émissions de CO₂ dans trois pays de l'Association des Pays de l'Asie du Sud-Est (ASEAN), la Malaisie, l'Indonésie et Singapour sur la période 1975-2011. Les résultats sont différents d'un pays à l'autre. En Malaisie, il existe deux relations de causalité unidirectionnelle allant des émissions de CO₂ vers la consommation d'énergie et de la consommation d'énergie vers la croissance

15. Pour plus de détail, voir Dinda (2004), Stern (2004)

économique. En Indonésie, la croissance économique granger cause les émissions de CO₂ et l'énergie granger cause la croissance. Dans le cas de Singapour, il n'y a pas de relation de causalité entre ces trois variables.

Arouri et al. (2012) ont analysé l'EKC dans 12 pays du Moyent-Orient et de l'Afrique du Nord (MENA) entre 1981 et 2005. Ils ont trouvé que l'EKC n'est pas vérifiée et ils en déduisent que tous les pays membres du MENA ne sauraient réduire leurs émissions de CO₂ sans freiner la croissance économique. Par des tests de racine unitaire et de cointégration en panel, ils ont établi pour toute la zone dans son ensemble que la consommation d'énergie a un impact significativement positif sur les émissions de CO₂ dans le long terme et la relation entre la croissance et les émissions de CO₂ est une relation quadratique.

Alam et al. (2011), ont étudié le lien de causalité entre la consommation d'énergie, le dioxyde de carbone (CO₂) et le revenu sur la période 1971-2006 en Inde. Leurs résultats montrent l'existence d'une relation bidirectionnelle de long terme entre la consommation d'énergie et les émissions de CO₂. En revanche, la relation est neutre entre d'une part le revenu et la consommation d'énergie, d'autre part entre le revenu et les émissions de CO₂.

De leur côté Wang et al. (2011) confirment dans leur étude sur 28 provinces Chinoises entre 1995 et 2007, l'existence de relations de causalité entre la croissance économique, la consommation d'énergie et les émissions de CO₂. Par un VECM, ils ont trouvé que les relations entre le CO₂ et l'énergie, d'une part et entre la croissance et l'énergie, d'autre part sont bidirectionnelles dans le court terme. Dans le long terme, l'énergie et la croissance influencent les émissions de CO₂, mais aussi, la croissance et le CO₂ ont un impact sur la consommation d'énergie.

Al-Mulali (2011), dans son étude sur les pays du Moyen-Orient et de l'Afrique du Nord (MENA) sur la période 1980-2009, a démontré que les émissions de CO₂ et le pétrole ont une relation de long terme avec la croissance économique. Toutefois, les résultats de

ses estimations ont révélé l'existence d'une relation bidirectionnelle de court terme entre le CO₂, la consommation de pétrole et la croissance économique.

Apergis & Payne (2010) ont considéré 11 pays du Commonwealth sur la période 1992-2004, pour lesquels ils ont étudié les liens de causalité entre la consommation d'énergie, le PIB réel et les émissions de CO₂. Ils ont trouvé dans le court terme une relation bidirectionnelle entre la consommation d'énergie et le PIB réel et deux relations unidirectionnelles du PIB réel vers les émissions de CO₂, d'une part et de la consommation d'énergie vers les émissions de CO₂, d'autre part. Dans le long terme, il existe une relation bidirectionnelle entre l'énergie et le CO₂. En revanche, la relation entre le PIB réel et le CO₂ a une forme de « U » inversé, les émissions de CO₂ croissent d'abord avec le PIB réel puis baissent après avoir atteint un certain seuil.

III – LA METHODOLOGIE D'ESTIMATION DU LIEN DE CAUSALITE ET LA PRESENTATION DES DONNEES

III – 1 – Les données

L'analyse porte sur les pays de l'UEMOA (Union Economique et Monétaire Ouest Africaine) qui regroupe huit pays que sont le Bénin, le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire, la Guinée Bissau, le Mali, le Niger, le Sénégal et le Togo. Les principales variables de l'analyse sont le PIB par tête, la consommation d'énergie par tête et les émissions de CO₂. Les données sur le PIB par tête et les émissions de CO₂ pour ces pays ont été tirées de la base de données de la Banque Mondiale (World Development Indicators (WDI, 2012)) et celles sur la consommation de la base de données de la BCEAO (Banque Centrale des Etats de l'Afrique de l'Ouest). Le PIB par tête est exprimé en dollar US (prix constant), le CO₂ est exprimé en tonne métrique par tête et la consommation d'énergie en kilotonne équivalent pétrole (ktep). Nous prenons le logarithme de ces variables. Cette transformation en logarithme facilite d'une part, l'interprétation des coefficients estimés

qui sont lus comme des élasticités et peut maîtriser d'autre part, le problème d'hétéroscédasticité. En effet, la transformation logarithmique permet de résoudre ou de réduire les écarts entre les variables liés aux différences dans leurs unités de mesure (Gujarati, 1995). Une autre variable est utilisée comme variable de contrôle, il s'agit du logarithme du taux d'investissement utilisé comme une variable proxy du taux d'épargne. Cette variable a pour source la base de données de la BCEAO. Nous avons finalement considéré sept des huit pays de la zone pour des raisons d'indisponibilité de données pour la Guinée Bissau et les données couvrent la période 1970 – 2010.

III – 2 – La méthodologie

Notre objectif dans cette analyse est de déterminer le lien de causalité entre la consommation d'énergie, la croissance économique et les émissions de CO₂ dans les pays de l'UEMOA. Une variable additionnelle est introduite, il s'agit du taux d'investissement. Pour estimer la relation entre les variables, nous spécifions le modèle à équations multiple suivant, équation (1), (2) et (3) respectivement :

$$\ln PIB_{it} = \beta_{i0} + \beta_1 \ln EN_{it} + \beta_2 \ln CO2_{it} + \beta_3 \ln INVEST_{it} + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$\ln EN_{it} = \alpha_{i0} + \alpha_1 \ln PIB_{it} + \alpha_2 \ln CO2_{it} + \alpha_3 \ln INVEST_{it} + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$\ln CO2_{it} = \gamma_{i0} + \gamma_1 \ln PIB_{it} + \gamma_2 \ln EN_{it} + \gamma_3 \ln INVEST_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Où $\ln PIB$ est le logarithme du PIB par tête, $\ln EN$ est le logarithme de la consommation d'énergie par tête, $\ln CO2$ est le logarithme des émissions de CO₂ par tête. $\ln INVEST$ est le logarithme du taux d'investissement. Nous adoptons une procédure en quatre étapes pour déterminer les relations de causalité.

III – 2 – 1 – L'analyse de la stationnarité des séries

La première étape de notre analyse est de s'assurer de la stationnarité des séries ou de l'ordre d'intégration de chacune d'elles. Cette étape est importante dans la mesure où, l'utilisation de variables non stationnaires dans une régression peut avoir des conséquences telles que l'obtention de coefficients non efficaces, des prévisions non optimales et des tests de significativité non valides (Granger, 1969). Une série temporelle est stationnaire si sa moyenne et sa variance ne varient pas avec le temps, sinon elle est dite non stationnaire. Nelson & Plosser (1982) pensent que la plupart des variables économiques ne sont pas stationnaires. Ce point de vue est soutenu par Curcio (1955) qui ajoute que les séries deviennent stationnaires lorsqu'elles sont différenciées une fois ou plus. L'analyse des séries temporelles non stationnaires est devenue un exercice incontournable dans la pratique économétrique courante, pour éviter les problèmes posés par l'utilisation de variables non stationnaires. De façon traditionnelle, le test de racine unitaire de Dickey-Fuller Augmenté (ADF) est mis en œuvre pour étudier la stationnarité des séries temporelles. Ce dernier souffre d'un problème de faible pouvoir de rejet de l'hypothèse nulle de stationnarité des séries, surtout pour les données de courte période. Dans ce chapitre, nous mettons en œuvre en plus du test de Dickey et Fuller Augmenté (ADF), le test de stationnarité de Phillips & Perron (PP). Les distributions asymptotiques des statistiques des tests de racine unitaire ont été construites sous l'hypothèse que le terme des résidus est un bruit blanc. Contrairement au test de Dickey & Fuller simple, les tests de Dickey & Fuller Augmenté (1979) et de Phillips & Perron (1988) tiennent compte de l'éventualité d'une autocorrélation des résidus dans leur construction. Le premier propose de contrôler l'autocorrélation directement dans le modèle en incluant un ou plusieurs termes autorégressifs différenciés. Le second, le test de Phillips & Perron, a proposé une correction des estimateurs des MCO et des statistiques de Student associées. C'est ce qui a motivé le choix de ces tests.

III – 1 – 2 – L'analyse de la cointégration

Après avoir déterminé l'ordre d'intégration des séries, l'étape suivante consiste à détecter l'existence de relations de cointégration. Si les variables sont intégrées du même ordre, il est possible qu'il y ait un mouvement d'ensemble de celles-ci. Les tests de cointégration, qui sont considérés comme une extension des tests de stationnarité, permettent de détecter que les variables intégrées du même ordre ont la même tendance stochastique et par conséquent une relation de cointégration. Le concept de cointégration peut être défini comme un co-mouvement systématique à long terme entre deux ou plusieurs variables économiques, (Yoo, 2006). Introduite sous le nom de « *spurious regressions* » ou régressions fallacieuses dès 1974 par Engle et Newbold, la notion de cointégration a été formalisée d'abord par Engle & Granger en 1987 puis par Johansen en 1991 et 1995. Les tests de Granger et de Johansen sont bien indiqués pour les séries temporelles. Engle & Granger (1987) ont montré qu'il est possible qu'une combinaison linéaire de séries intégrées du même ordre soit stationnaire avec un ordre d'intégration strictement inférieur à celui des variables. Le test de Granger s'articule autour de deux étapes, la régression statistique entre les variables intégrées du même ordre et la vérification de la stationnarité des résidus. La méthode de Johansen consiste à imposer des restrictions par la cointégration et de les tester. Pour tester la cointégration et déterminer le nombre de relations de cointégration, le test de Johansen-Juselius a été beaucoup utilisé. C'est ce test que nous appliquons ici aussi.

III – 1 – 3 – Le test de causalité et vitesse d'ajustement

Lorsque les résultats du test de cointégration soutiennent l'absence de relations de cointégration entre les variables, nous estimons un modèle VAR puis récupérons les fonctions de réponse impulsionnelles et la décomposition de la variance des erreurs. En revanche, si les tests de cointégration confirment la présence de relations de long terme, les résidus des équations d'équilibre de long terme (1), (2) et (3) sont utilisés pour estimer les modèles à correction d'erreurs (VECM) dans la troisième étape. Le VECM est une

restriction du VAR. Il contient un terme de cointégration représenté par un terme de correction d'erreurs (ECT) et contraint les variables endogènes à converger vers les relations de cointégration tout en permettant les ajustements dynamiques de court terme, Kareem et al. (2012). La correction d'erreurs implique que les variations des variables endogènes soient une fonction du niveau de déséquilibre dans la relation de cointégration qu'elle récupère. L'ECT est la méthode de correction du déséquilibre et de détermination des relations de court terme et de long terme entre les variables. Le modèle à correction d'erreur se présente de la manière suivante :

$$\Delta \ln PIB_{it} = \beta_{i0} + \sum_{k=1}^p \beta_{i1k} \Delta \ln PIB_{it-k} + \sum_{k=1}^p \beta_{i2} \Delta \ln EN_{it-k} + \sum_{k=1}^p \beta_{i3} \Delta \ln CO2_{it-k} + \beta_{i4} ECT_{pib,t-1} + \sum_{j=5}^9 \sum_{k=1}^p \beta_{ij} \Delta \ln INVEST_{it} + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$\Delta \ln EN_{it} = \alpha_{i0} + \sum_{k=1}^p \alpha_{i1} \Delta \ln EN_{it-k} + \sum_{k=1}^p \alpha_{i2} \Delta \ln PIB_{it-k} + \sum_{k=1}^p \alpha_{i3} \Delta \ln CO2_{it-k} + \alpha_{i4} ECT_{en,t-1} + \sum_{j=5}^9 \sum_{k=1}^p \alpha_{ij} \Delta \ln INVEST_{it} + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

$$\Delta \ln CO2_{it} = \gamma_{i0} + \sum_{k=1}^p \gamma_{i1} \Delta \ln CO2_{it-k} + \sum_{k=1}^p \gamma_{i2} \Delta \ln PIB_{it-k} + \sum_{k=1}^p \gamma_{i3} \Delta \ln EN_{it-k} + \alpha_{i4} ECT_{co2,t-1} + \sum_{j=5}^9 \sum_{k=1}^p \gamma_{ij} \Delta \ln INVEST_{it} + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

Où Δ est l'opérateur de différence première, k ($k=1, \dots, p$) est le nombre de retard optimal déterminé par les critères d'information AIC. Le terme ECT_{t-1} dans chacune des équations est le terme de correction d'erreur décalé d'une période, dérivé des relations de cointégration de long terme, équations (1) à (3) de la façon suivante :

$$ECT_{pib,it} = \ln PIB_{it} - \hat{\beta}_{i1} \ln EN_{it} - \hat{\beta}_{i2} \ln CO2_{it} - \hat{\beta}_{i3} \ln INVEST_{it}$$

$$ECT_{en,it} = \ln EN_{it} - \hat{\alpha}_{i1} \ln PIB_{it} - \hat{\alpha}_{i2} \ln CO2_{it} - \hat{\alpha}_{i3} \ln INVEST_{it}$$

$$ECT_{co2,it} = \ln CO2_{it} - \hat{\gamma}_{i1} \ln PIB_{it} - \hat{\gamma}_{i2} \ln EN_{it} - \hat{\gamma}_{i3} \ln INVEST_{it}$$

L'indice i désigne les pays. Les β_{i4} , α_{i4} et γ_{i4} sont les coefficients d'ajustement qui nous renseignent sur l'existence de relation de long terme. Les coefficients β_{ij} , α_{ij} et γ_{ij} , où ($j=1, \dots, 3$ et $j=5 \dots 9$) donnent les informations sur les liens de causalité de court terme. ε_{it} est le terme d'erreurs. Nous estimons dans cette partie pour chacun des pays de l'UEMOA, la vitesse d'ajustement vers l'équilibre de long terme.

III – 2 – 4 – La détermination des relations de causalité de long terme

Le modèle à correction d'erreurs permet d'estimer les relations de court terme d'une part et d'indiquer l'existence de relations de long terme à travers la significativité du terme de correction d'erreur. Pour déterminer les coefficients de long terme, des méthodes ont été proposées. Il est reconnu que la méthode des moindres carrés ordinaires ne donne pas toujours des estimateurs convergents. Pour cela, Kao & Chiang (1999) ont proposé l'estimateur DOLS (Dynamic Ordinary Least square). Cet estimateur n'accorde pas une grande importance à l'hétérogénéité des individus. Pour résoudre ce problème, Pedroni (2001, 2004) propose l'estimateur FMOLS (Fully Modified Least Square) qui permet de prendre en compte l'hétérogénéité des individus, mais aussi le problème d'endogénéité et de l'autocorrélation. Ces derniers estimateurs (DOLS et FMOLS) ne fournissent pas que des estimations efficaces en échantillon de petite taille, ils permettent de contrôler le problème d'endogénéité des régresseurs et le problème d'autocorrélation (Ramirez, 2006).

Le modèle estimé ici est spécifié comme il suit, équations (7) à (9) respectivement :

$$\begin{aligned}
 \ln PIB_{it} &= \beta_{i0} + \beta_{i1} \ln EN_{it} + \beta_{i2} \ln CO2_{it} \\
 &\quad + \sum_{k=-k_i}^{k_i} \theta_{i1k} \Delta \ln EN_{it-k} + \sum_{k=-k_i}^{k_i} \theta_{i2k} \Delta \ln CO2_{it-k} + \varepsilon_{it} \\
 \ln EN_{it} &= \beta_{i0} + \beta_{i1} \ln PIB_{it} + \beta_{i2} \ln CO2_{it} \\
 &\quad + \sum_{k=-k_i}^{k_i} \theta_{i1k} \Delta \ln PIB_{it-k} + \sum_{k=-k_i}^{k_i} \theta_{i2k} \Delta \ln CO2_{it-k} + \varepsilon_{it}
 \end{aligned}$$

$$\ln CO2_{it} = \beta_{i0} + \beta_{i1} \ln PIB_{it} + \beta_{i2} \ln EN_{it} + \sum_{k=-k_i}^{k_i} \theta_{i1k} \Delta \ln PIB_{it-k} + \sum_{k=-k_i}^{k_i} \theta_{i2k} \Delta \ln EN_{it-k} + \varepsilon_{it}$$

IV – RESULTATS DES TESTS DE CAUSALITE ET ESTIMATION DES VITESSES D'AJUSTEMENT DE LONG TERME

L'objectif principal de ce chapitre est de déterminer les liens de causalité entre la croissance, la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ dans la zone UEMOA. Nous prenons en compte l'hétérogénéité des pays de l'Union la possibilité d'un biais d'endogénéité des régresseurs et estimons les relations de long terme individuelles entre les variables par les méthodes DOLS et FMOLS. Mais avant, les vitesses d'ajustement de long terme sont estimés par la méthode de correction d'erreurs qui est précédée des tests de stationnarité de Dickey & Fuller (ADF) et de Phillips & Perron (PP) et le test de cointégration de Johansen.

IV – 1 – Les résultats des tests de racine unitaire

Avant d'estimer les relations entre les variables, il y a une nécessité de déterminer l'ordre d'intégration de chacune des variables afin d'éviter de réaliser des estimations fallacieuses. Pour cela, nous appliquons les tests de racine unitaire sur le logarithme des variables PIB par tête, consommation d'énergie par tête, émissions de CO₂ par tête, le taux d'investissement en niveau et en différence première. Les résultats de ces tests sont donnés dans le tableau III.1. Nous effectuons ici le test de racine unitaire ADF de Dickey & Fuller et PP de Phillips & Perron. Ces tests ADF et PP testent l'hypothèse nulle de présence d'une racine unitaire (non stationnarité) contre l'hypothèse alternative d'absence de racine unitaire (stationnarité). Les résultats des tests sont donnés dans le tableau III.1 ci-dessous pour les sept pays de l'UEMOA considérés ici.

CHAPITRE III : Causalité entre PIB, énergie et CO2

Tableau III.1 : Résultats des tests de racine unitaire dans l'UEMOA

BENIN

	Dickey-Fuller Augmenté (ADF)		Phillips-Perron (pp)	
	<i>Constant + trend</i>	<i>constant sans trend</i>	<i>Constant + trend</i>	<i>constant sans trend</i>
En niveau				
LNPIB	-3.29	-2.08	-3.53	-1.97
LNEN	-1.45	-0.10	-1.70	-0.25
LNCO ₂	0.81	2.56	1.41	3.61
LNINVEST	0.58	0.07	0.18	-0.24
En différence première				
ΔLNPIB	-5.25***	-5.28***	-7.25***	-7.36***
ΔLNEN	-5.07***	-4.79***	-4.68***	-4.91***
ΔLNCO ₂	-4.43***	-3.03**	-6.18***	-5.43***
ΔLNINVEST	-4.18**	-4.25***	-7.90***	-9.61***

BURKINA FASO

	Dickey-Fuller Augmenté (ADF)		Phillips-Perron (pp)	
	<i>Constant + trend</i>	<i>constant sans trend</i>	<i>Constant + trend</i>	<i>constant sans trend</i>
En niveau				
LNPIB	-3.22	-3.20**	-3.17	-1.38
LNEN	-3.34	-3.07**	-2.43	-1.60
LNCO ₂	-3.45	-3.27**	-1.51	0.88
LNINVEST	-2.67	-0.63	-3.43	-1.13
En différence première				
ΔLNPIB	-3.62**	-3.20**	-14.18***	-12.40***
ΔLNEN	-3.74**	-3.78***	-4.30***	-4.37***
ΔLNCO ₂	-3.63**	-3.40**	-8.02***	-7.62***
ΔLNINVEST	-6.12***	-6.16***	-8.25***	-8.38***

Notes: (***) et (**) désignent les niveaux de significativité aux seuils statistiques de 1 % et 5 % respectivement. Les valeurs critiques sont -4.25 et -3.65 à 1% et 5% respectivement pour le modèles avec constante et trend, -3.54 et -2.96 à 1% et 5% respectivement pour le modèle avec constante sans trend.

PARTIE 2. CROISSANCE-ENVIRONNEMENT : UNE ANALYSE PAR PAYS

CÔTE D'IVOIRE

	Dickey-Fuller Augmenté (ADF)		Phillips-Perron (pp)	
	<i>Constant + trend</i>	<i>constant sans trend</i>	<i>Constant + trend</i>	<i>constant sans trend</i>
En niveau				
LNPIB	-3.02	-1.12	-2.62	-1.42
LNEN	-2.53	-1.92	-2.63	-2.14
LNCO ₂	-3.42	-2.36	-3.71**	-2.90
LNINVEST	-2.34	-2.03	-2.28	-1.92
En différence première				
ΔLNPIB	-3.27	-3.45**	-4.29***	-4.36***
ΔLNEN	-4.79***	-4.74***	-6.85***	-6.82***
ΔLNCO ₂	-5.70***	-5.72***	-8.17***	-8.18***
ΔLNINVEST	-3.48	-3.45***	-5.68***	-5.68***

MALI

	Dickey-Fuller Augmenté (ADF)		Phillips-Perron (pp)	
	<i>Constant + trend</i>	<i>constant sans trend</i>	<i>Constant + trend</i>	<i>constant sans trend</i>
En niveau				
LNPIB	-3.17	-2.49	-3.91**	-2.90
LNEN	-3.24	-2.55	-3.63**	-3.18
LNCO ₂	-3.74**	-1.92	-2.98	-2.41
LNINVEST	-4.68***	-2.69	-4.73	-1.94
En différence première				
ΔLNPIB	-6.63***	-6.73***	-8.82***	-7.36***
ΔLNEN	-4.68***	-4.70***	-6.35***	-4.91***
ΔLNCO ₂	-3.82**	-3.62**	-8.10***	-5.43***
ΔLNINVEST	-3.61**	-3.75***	-10.85***	-10.86***

Notes: (***) et (**) désignent les niveaux de significativité aux seuils statistiques de 1 % et 5 % respectivement. Les valeurs critiques sont -4.25 et -3.65 à 1% et 5% respectivement pour le modèles avec constante et trend, -3.54 et -2.96 à 1% et 5% respectivement pour le modèle avec constante sans trend.

CHAPITRE III : Causalité entre PIB, énergie et CO2

NIGER

	Dickey-Fuller Augmenté (ADF)		Phillips-Perron (pp)	
	<i>Constant + trend</i>	<i>constant sans trend</i>	<i>Constant + trend</i>	<i>constant sans trend</i>
En niveau				
LNPIB	-2.99	-2.10	-4.60***	-2.92
LNEN	-1.48	-1.42	-1.40	-1.29
LNCO ₂	-1.94	-1.79	-1.78	-1.73
LNINVEST	-2.12	-1.44	-2.36	-1.19
En différence première				
ΔLNPIB	-7.06***	-7.06***	-13.34***	-13.13***
ΔLNEN	-4.54***	-4.59***	-5.44***	-5.44***
ΔLNCO ₂	-4.57***	-4.38***	-5.71***	-5.59***
ΔLNINVEST	-4.85***	-4.85***	-7.28***	-7.37***

SENEGAL

	Dickey-Fuller Augmenté (ADF)		Phillips-Perron (pp)	
	<i>Constant + trend</i>	<i>constant sans trend</i>	<i>Constant + trend</i>	<i>constant sans trend</i>
En niveau				
LNPIB	-1.30	-1.41	-1.65	-1.88
LNEN	0.07	1.30	0.14	1.69
LNCO ₂	-2.73	-2.63	-3.33	-3.33**
LNINVEST	-2.96	-0.59	-3.36	-0.50
En différence première				
ΔLNPIB	-4.62***	-4.42***	-8.99***	-8.75***
ΔLNEN	-3.55**	-3.11**	-6.67***	-6.19***
ΔLNCO ₂	-5.08***	-5.00***	-8.71***	-8.66***
ΔLNINVEST	-5.23***	-5.32***	-7.84***	-7.90***

Notes: (***) et (**) désignent les niveaux de significativité aux seuils statistiques de 1 % et 5 % respectivement. Les valeurs critiques sont -4.25 et -3.65 à 1% et 5% respectivement pour le modèles avec constante et trend, -3.54 et -2.96 à 1% et 5% respectivement pour le modèle avec constante sans trend.

TOGO

	Dickey-Fuller Augmenté (ADF)		Phillips-Perron (pp)	
	<i>Constant + trend</i>	<i>constant sans trend</i>	<i>Constant + trend</i>	<i>constant sans trend</i>
En niveau				
LNPIB	-3.53	-2.46	-3.00	-2.37
LNEN	-2.81	-2.83	-3.87**	-3.84***
LNCO ₂	-3.86	-3.34**	-4.00**	-3.54**
LNINVEST	-2.80	-1.90	-3.32	-2.17
En différence première				
ΔLNPIB	-4.53***	-4.59***	-5.61***	-5.69***
ΔLNEN	-5.65***	-5.73***	-9.09***	-9.23***
ΔLNCO ₂	-6.57***	-6.67***	-7.96***	-8.10***
ΔLNINVEST	-5.28	-5.33***	-8.26***	-8.33***

*Notes: (***) et (**) désignent les niveaux de significativité aux seuils statistiques de 1 % et 5 % respectivement. Les valeurs critiques sont -4.25 et -3.65 à 1% et 5% respectivement pour le modèles avec constante et trend, -3.54 et -2.96 à 1% et 5% respectivement pour le modèle avec constante sans trend.*

De façon générale, les résultats du tableau III.1 indiquent que le logarithme des séries du PIB par tête, de la consommation d'énergie par tête, des émissions de CO₂ par tête et du taux d'investissement sont intégrées du même ordre 1. En effet d'un côté, les tests ADF et PP, avec constante et/ou trend, de façon générale, ne permettent pas de rejeter l'hypothèse nulle de présence d'une racine unitaire. Les séries du logarithme du PIB par tête, de la consommation d'énergie par tête, des émissions de CO₂ par tête et de l'investissement en niveau ne sont pas stationnaires. En revanche, l'hypothèse nulle de présence d'une racine unitaire est rejetée, à l'unanimité pour toutes les séries en différence première.

IV – 2 – Les résultats des tests de cointégration

Après avoir montré que les variables de notre analyse sont intégrées du même ordre 1, il est nécessaire de réaliser le test de cointégration. Comme précisé plus haut, nous mettons en œuvre les tests de cointégration de Johansen (1988). Le nombre de relations de cointégration est déterminé à travers deux statistiques, λ_{trace} et λ_{max} . L'hypothèse nulle du test de la trace est qu'il y a au plus r relations de cointégration, contre l'hypothèse alternative qu'il y a plus que r . L'hypothèse nulle du test du maximum est qu'il y a exactement r relations de cointégration contre l'hypothèse alternative qu'il y en a exactement $r + 1$. Ces tests sont menés de façon séquentielle. L'économètre commence par tester l'hypothèse nulle que $r = 0$, si cette hypothèse nulle est rejetée, il continue avec l'hypothèse nulle que $r = 1$. Le test de cointégration de Johansen est sensible au nombre de retards utilisé. Il est donc important de déterminer d'abord le nombre de retards optimal. Cette sélection est faite par les critères d'information AIC, SBC et HQ. Les résultats de la sélection du nombre de retards optimal pour chaque pays de l'Union sont donnés dans les annexes du chapitre. Ils indiquent à l'unanimité que ce nombre $p = 1$ pour chaque pays.

Nous pouvons à présent faire les tests de cointégration de Johansen, les résultats sont donnés dans le tableau III.2 ci-après. Dans le tableau des résultats, sur chaque ligne nous avons l'hypothèse nulle $r = j, j = 0, \dots, 3$, les statistiques λ_{trace} et λ_{max} et les valeurs critiques correspondantes. L'hypothèse nulle est rejetée lorsque la statistique λ_{trace} ou λ_{max} est supérieure à la valeur critique au seuil de 5%. Il apparaît que l'hypothèse nulle que $r = 0$, indiquant l'absence de relation de cointégration entre les variables du PIB par tête, de la consommation d'énergie par tête, des émissions de CO₂ et de l'investissement dans chacun des pays de l'UEMOA est rejetée au seuil de 5%. Les deux sont en adéquation et indiquent une relation de cointégration au Bénin et au Togo. Pour ces deux pays, nous ne pouvons rejeter l'hypothèse nulle que $r = 1$, les statistiques λ_{trace} et λ_{max} sont inférieures aux valeurs critiques au seuil de 5%. Pour les autres pays, l'hypothèse nulle selon laquelle le rang de cointégration $r = 1$ est rejetée. En revanche l'hypothèse nulle $r = 2$ ne peut être rejetée au seuil de 5%. Le rang de cointégration est donc égale à 2.

Tableau III.2 : Résultats du test de cointégration de Johansen (1988)

	H_0	λ_{trace}	Valeurs critiques (5%)	λ_{max}	valeurs critiques (5%)
	$r=0$	51.8915***	47.21	33.0671***	27.07
BENIN	$r=1$	28.8245	29.68	12.4763	20.97
	$r=2$	6.3482	15.41	6.2265	14.07
	$r=3$	0.1216	3.76	0.1216	3.76
	H_0	λ_{trace}	Valeurs critiques (5%)	λ_{max}	valeurs critiques (5%)
	$r=0$	56.8174***	47.21	27.1181***	27.07
BURKINA	$r=1$	29.6993***	29.68	21.3902***	20.97
FASO	$r=2$	8.3091	15.41	7.9866	14.07
	$r=3$	0.3225	3.76	0.3225	3.76
	H_0	λ_{trace}	Valeurs critiques (5%)	λ_{max}	valeurs critiques (5%)
	$r=0$	57.3842***	47.21	39.3861***	27.07
CÔTE	$r=1$	37.9981***	29.68	23.2694***	20.97
D'IVOIRE	$r=2$	4.7287	15.41	3.8163	14.07
	$r=3$	0.9124	3.76	0.9124	3.76
	H_0	λ_{trace}	Valeurs critiques (5%)	λ_{max}	valeurs critiques (5%)
	$r=0$	72.5292***	47.21	45.1855***	27.07
MALI	$r=1$	32.3437***	29.68	14.8991	20.97
	$r=2$	12.4446	15.41	12.4436	14.07
	$r=3$	0.0010	3.76	0.0010	3.76
	H_0	λ_{trace}	Valeurs critiques (5%)	λ_{max}	valeurs critiques (5%)
	$r=0$	49.9286***	47.21	30.2195***	27.07
NIGER	$r=1$	29.7091***	29.68	21.3088***	20.97
	$r=2$	10.4002	15.41	6.2419	14.07
	$r=3$	4.1584	3.76	4.1584	3.76
	H_0	λ_{trace}	Valeurs critiques (5%)	λ_{max}	valeurs critiques (5%)
	$r=0$	53.9999***	47.21	32.6633***	27.07
SENEGAL	$r=1$	31.3376***	29.68	22.4634***	20.97
	$r=2$	3.8742	15.41	3.2686	14.07
	$r=3$	0.6056	3.76	0.6056	3.76
	H_0	λ_{trace}	Valeurs critiques (5%)	λ_{max}	valeurs critiques (5%)
	$r=0$	50.3782***	47.21	27.9473***	27.07
TOGO	$r=1$	22.4309	29.68	12.4545	20.97
	$r=2$	9.9764	15.41	8.2693	14.07
	$r=3$	1.7071	3.76	1.7071	3.76

Notes: (***) indique le rejet de l'hypothèse nulle

CHAPITRE III : Causalité entre PIB, énergie et CO2

IV – 3 – L'analyse de la vitesse d'ajustement de long terme

Suite aux résultats des tests de cointégration, qui ont indiqué la présence de relations de long terme dans chacun des pays de l'Union, nous adoptons la méthode de correction d'erreurs pour chaque pays pour analyser l'ajustement de long terme entre les variables. Elle permet de déterminer le sens et l'intensité des relations de court terme, d'une part et d'indiquer la vitesse d'ajustement de long terme. La procédure est faite en deux étapes. La première consiste à estimer les modèles (1) à (3) et de récupérer les résidus correspondants aux déviations par rapport à l'équilibre. La seconde étape correspond à l'estimation des équations (4) à (6) qui contiennent les résidus récupérées. Cette étape estime les coefficients qui correspondent aux ajustements de court terme, d'une part et aux vitesses d'ajustement de long terme. Le tableau III.3 donne les résultats des estimations.

Tableau III.3 : Résultats de l'estimation de la vitesse d'ajustement de long terme

Pays	Sources de l'influence (variables indépendantes)				
<i>BENIN</i>	Court terme				vitesse d'ajust de LT
Variable dépendantes	ΔLNPIB	ΔLNEN	ΔLNCO_2	$\Delta \text{LNINVEST}$	ECT
ΔLNPIB	-	-0,07 (0.25)	0,27*** (0.00)	-0,21 (0.82)	-0,31*** (0.00)
ΔLNEN	0,57 (0.44)	-	0,16 (0.30)	0,56 (0.14)	0,03 (0.16)
ΔLNCO_2	2,23*** (0.00)	-0,47 (0.86)	-	-0,12 (0.71)	-0,18 (0.11)
$\Delta \text{LNINVEST}$	-1,02 (0.43)	0,51** (0.01)	-0,05 (0.66)	-	-0,07 (0.23)
<i>BURKINA FASO</i>	ΔLNPIB	ΔLNEN	ΔLNCO_2	$\Delta \text{LNINVEST}$	ECT
ΔLNPIB	-	0,06 (0.22)	-0,02 (0.29)	-0,03 (0.74)	-0,005* (0.06)
ΔLNEN	-1,01 (0.18)	-	0,22* (0.05)	0,07* (0.07)	-0,02 (0.11)
ΔLNCO_2	-0,21 (0.30)	0,11 (0.49)	-	-0,21** (0.04)	-0,32*** (0.00)
$\Delta \text{LNINVEST}$	-1,50 (0.13)	-0,28 (0.65)	0,36 (0.91)	-	0,03 (0.75)

PARTIE 2. CROISSANCE-ENVIRONNEMENT : UNE ANALYSE PAR PAYS

Tableau III.3 : Résultats de l'estimation de la vitesse d'ajustement de long terme (suite)

<i>CÔTE D'IVOIRE</i>	ΔLNPIB	ΔLNEN	ΔLNCO_2	$\Delta \text{LNINVEST}$	ECT
ΔLNPIB	-	-0,1 (0.34)	0,05 (0.50)	0,08** (0.01)	-0,01 (0.81)
ΔLNEN	0,22 (0.70)	-	-0,51* (0.05)	0,06 (0.23)	-0,88*** (0.00)
ΔLNCO_2	-0,89 (0.74)	0,18 (0.47)	-	0,32** (0.02)	0,05 (0.59)
$\Delta \text{LNINVEST}$	5,59** (0.03)	-2,71** (0.01)	1,17* (0.08)	-	-0,38*** (0.00)
<i>MALI</i>	ΔLNPIB	ΔLNEN	ΔLNCO_2	$\Delta \text{LNINVEST}$	ECT
ΔLNPIB	-	-0,11 (0.23)	-0,24 (0.79)	0,11* (0.07)	-0,06 (0.45)
ΔLNEN	-1,44 (0.58)	-	-1,21 (0.77)	-0,96 (0.29)	-0,52* (0.09)
ΔLNCO_2	-0,16 (0.37)	0,18 (0.47)	-	0,04 (0.30)	-0,06** (0.01)
$\Delta \text{LNINVEST}$	1,27** (0.04)	0,02 (0.82)	2,59 (0.16)	-	-0,007 (0.97)
<i>NIGER</i>	ΔLNPIB	ΔLNEN	ΔLNCO_2	$\Delta \text{LNINVEST}$	ECT
ΔLNPIB	-	0,02 (0.62)	-0,06 (0.52)	0,07* (0.07)	0,02 (0.47)
ΔLNEN	0,13 (0.73)	-	0,10 (0.41)	0,12 (0.15)	0,04 (0.65)
ΔLNCO_2	0,87** (0.37)	0,11 (0.10)	-	-0,02 (0.14)	-0,08* (0.08)
$\Delta \text{LNINVEST}$	3,54** (0.02)	1,49*** (0.00)	1,07* (0.09)	-	-0,45*** (0.00)
<i>SENEGAL</i>	ΔLNPIB	ΔLNEN	ΔLNCO_2	$\Delta \text{LNINVEST}$	ECT
ΔLNPIB	-	-0,09* (0.07)	0,11 (0.24)	0,02 (0.68)	-0,19*** (0.00)
ΔLNEN	-0,12 (0.62)	-	0,19 (0.82)	-0,10 (0.60)	-0,06 (0.37)
ΔLNCO_2	-1,31** (0.03)	0,25* (0.09)	-	0,14 (0.49)	-0,09* (0.06)
$\Delta \text{LNINVEST}$	-0,04 (0.76)	-0,19 (0.38)	-0,22 (0.35)	-	0,006 (0.29)
<i>TOGO</i>	ΔLNPIB	ΔLNEN	ΔLNCO_2	$\Delta \text{LNINVEST}$	ECT
ΔLNPIB	-	0,04 (0.44)	0,14** (0.02)	-0,005 (0.84)	-0,04 (0.33)
ΔLNEN	1,33 (0.19)	-	0,26 (0.20)	-0,13 (0.94)	0,01 (0.81)
ΔLNCO_2	1,60** (0.02)	-0,44** (0.01)	-	-0,13 (0.40)	-1,01*** (0.00)
$\Delta \text{LNINVEST}$	0,81 (0.21)	-0,92 (0.72)	-0,29 (0.38)	-	0,06 (0.27)

Notes: ECT désigne le terme de correction d'erreurs ; (*), (**) et (***) indiquent les seuils de significativité à 10 %, 5 % et 1 % respectivement.

L'objectif principal de cette partie est de déterminer la capacité d'ajustement de chacune des variables pour chaque pays de l'UEMOA et de mesurer la vitesse à laquelle s'effectue le retour à l'équilibre de long terme. Toutefois, l'on peut en déduire les relations de causalité de court terme. En effet, les résultats du tableau III.3 indiquent une relation de causalité bidirectionnelle, d'une part entre le PIB par tête et les émissions de CO₂ par tête et une relation unidirectionnelle dans laquelle le CO₂ influence positivement l'investissement. Au Burkina Faso, il existe trois relations unidirectionnelles dont deux positives où les émissions de CO₂ et de l'investissement influencent la consommation d'énergie et une négative où l'investissement a une influence sur le CO₂. Dans le cas de la Côte d'Ivoire, il y a deux relations bidirectionnelles entre le PIB et l'investissement et entre l'investissement et le CO₂. Il existe également deux relations de causalité unidirectionnelles négatives du CO₂ vers l'énergie et de l'énergie vers l'investissement. Au Mali il y a une seule relation de causalité positive bidirectionnelle entre l'investissement et le PIB par tête. Dans le court terme au Niger le PIB et l'investissement s'influencent mutuellement. Nous notons aussi des influences unilatérales du PIB sur le CO₂, de l'énergie et du CO₂ sur l'investissement. Au Sénégal il n'y a que des relations unidirectionnelles du PIB vers le CO₂ et de l'énergie vers d'une part le CO₂ et d'autre part le PIB. Enfin au Togo, le PIB et le CO₂ s'influencent mutuellement, en revanche l'énergie cause le CO₂ de façon unilatérale. Les relations de causalité de court terme entre le PIB par tête, la consommation d'énergie, les émissions de CO₂ par tête et l'investissement dans la zone UEMOA sont diversifiées, ce qui est une preuve de l'hétérogénéité des pays de l'Union.

L'existence de relations de causalité de long terme est déterminée par le terme de correction d'erreurs ECT. Lorsqu'il est significatif et négatif, il indique qu'il y a au moins une relation de long terme entre les variables et que la variable endogène joue un important rôle de facteur d'ajustement quand le système s'écarte de l'équilibre (Farhani & Ben Rejeb, 2012). Les résultats du tableau III.3 montrent qu'il y a un co-mouvement d'ensemble des variables prises en compte pour chaque pays de l'UEMOA. Il apparaît que le PIB par tête est le facteur d'ajustement au Bénin et la vitesse d'ajustement est 0.31 % par

an. Au Burkina Faso, le PIB par tête avec une vitesse de 0.05 % et les émissions de CO₂ par tête avec une vitesse de 0.32 % sont les facteurs d'ajustement de long terme vers l'équilibre. L'énergie et l'investissement sont les facteurs d'ajustement pour la Côte d'Ivoire avec 0.88 % et 0.38 % de vitesse d'ajustement respectivement. L'énergie (0.52 %) et le CO₂ (0.06 %) jouent le rôle de variables d'ajustement au Mali. Au Niger ce sont l'investissement et le CO₂ qui sont les facteurs d'ajustement avec 0.45 % et 0.08 % comme vitesses respectives. Le PIB par tête au Sénégal (0.19 %) et le CO₂ (0.09 %) au Sénégal et (1.01 %) au Togo y sont les facteurs d'ajustement de long terme.

V – LES RELATIONS DE CAUSALITE DE LONG TERME DANS L'UEMOA

Les résultats du tableau III.3, en particulier les coefficients du terme de correction d'erreurs confirment la présence de relations de long terme entre les variables indiquées par les tests de cointégration. Nous déterminons ces relations en estimant les modèles (7) à (9) par la méthode des moindres carrés ordinaires mais aussi par les méthodes FMOLS et DOLS. Les MCO sont utilisés comme estimations de référence. L'estimation par les MCO d'un modèle où les variables sont cointégrées ne fournit pas des coefficients convergents à cause du problème d'endogénéité. Les méthodes FMOLS et DOLS permettent de prendre en compte l'endogénéité des régresseurs et l'autocorrélation. Ce qui permet d'obtenir des estimateurs convergents, même avec des échantillons de petite taille. Nous estimons ici les relations de long terme entre le PIB par tête, la consommation d'énergie par tête et les émissions de CO₂ par tête dans la zone UEMOA pour chaque pays individuellement. Nous considérons chacune des variables (PIB, énergie et CO₂) comme variable endogène et déterminons l'intensité et la significativité de l'influence des autres variables du système (le PIB, l'énergie, les émissions de CO₂ et l'investissement). Les résultats sont donnés dans le tableau III.4 pour le PIB par tête, le tableau III.5 pour l'énergie et le tableau III.6 pour les émissions de CO₂.

Tableau III.4 : Relations de causalité de long terme dans l’UEMOA (variable dépendante = LNPIB)

	LNEN			LNCO ₂			LNINVEST		
Pays	MCO	DOLS	FMOLS	MCO	DOLS	FMOLS	MCO	DOLS	FMOLS
Bénin	0.5	2.72***	3.79***	0.7**	1.21	1.15	0.1	1.76**	2.71***
Burkina Faso	-0.12	0.54	0.84	0.03	0.19	0.30	0.20***	0.55	0.50***
Côte d’Ivoire	0.64***	3.92***	3.41***	0.15	-0.76	-0.28	-0.14***	1.51***	1.55***
Mali	-0.11	2.17***	-0.34	-0.26	-1.80	0.27	0.10***	1.31***	0.32
Niger	0.23**	0.34	0.30	-1.24	-1.86	-1.31	-1.21***	0.70***	0.79***
Sénégal	0.83**	0.79	0.62	-0.82	-0.98	0.21	-0.11	0.63***	0.76***
Togo	1.29***	3.25***	1.44**	-0.40	2.62	0.64	-0.39	1.003***	1.49

Notes : (***) et (**) indiquent les niveaux de significativité aux seuils de 1 % et 5 % respectivement. MCO = Moindres Carrés Ordinaires. DOLS = Dynamic Ordinary Least Square et FMOLS = Fully Modified Ordinary Least Square. LNEN = logarithme de la consommation d’énergie, LNCO₂ = logarithme des émissions de CO₂, LNINVEST = logarithme du taux d’investissement et LNPIB = logarithme du PIB par tête.

Le tableau III.4 ci-avant reporte les résultats de l'estimation des relations de causalité de long terme de l'énergie, du CO₂ et de l'investissement sur le PIB. En considérant les pays individuellement, dans deux pays sur sept, c'est l'hypothèse de neutralité qui est vérifiée entre le PIB et l'énergie, précisément au Burkina Faso et au Niger ; le coefficient de l'énergie n'est pas significatif. Dans les autres pays la consommation d'énergie a un effet significativement positif sur le PIB. L'accroissement de la consommation d'énergie de 1% fait croître le PIB par tête de plus de 3 % au Bénin, en Côte d'Ivoire et au Togo, de plus de 2 % au Mali et environ 0.8% au Sénégal. Dans ces pays on en déduit que l'hypothèse de croissance est vérifiée. Cette dernière suppose que l'énergie joue un rôle primordial dans le processus de production. Elle est un facteur de production complémentaire aux facteurs habituels que sont le capital et le travail.

De façon unanime, les estimateurs indiquent que l'investissement a un impact significativement positif sur le PIB par tête dans chacun des pays de l'Union. Ces résultats sont ceux attendus et généralement trouvés dans la littérature, ils montrent que les pays font des investissements productifs. En revanche, l'influence des investissements comme celle de l'énergie n'est pas uniforme dans l'Union. En effet, un accroissement de 1% des investissements font croître le PIB par tête d'environ 2% au Bénin, 0.5% au Burkina Faso, 0.8% au Niger et au Sénégal et de plus de 1% au Mali, en Côte d'Ivoire et au Togo.

Tableau III.5 : Relations de causalité de long terme dans l'UEMOA (variable dépendante = LNEN)

	LNPIB			LNCO ₂			LNINVEST		
Pays	MCO	DOLS	FMOLS	MCO	DOLS	FMOLS	MCO	DOLS	FMOLS
Bénin	1.70	-0.19***	-0.13***	0.64	0.29	0.32	0.43***	0.61***	0.58***
Burkina Faso	-0.48	0.19	0.28**	0.33**	0.10	0.07	0.25***	0.05	-0.01
Côte d'Ivoire	0.53***	-0.19***	-0.13***	0.22**	-0.04	0.28	0.12***	0.28***	0.24***
Mali	-0.72	-0.39***	-0.24**	-0.77	1.64	0.36	0.65***	0.67***	0.51***
Niger	0.62**	0.45***	0.02	0.30**	0.89	0.27	0.18***	-0.24	0.13
Sénégal	1.26**	0.61***	0.20	0.45	-0.98	0.21	0.11***	-0.54**	-0.04
Togo	0.92***	-0.03	-0.14**	0.04	0.06	0.09	0.09	-0.03	0.23**

Notes : (***) et (**) indiquent les niveaux de significativité aux seuils de 1 % et 5 % respectivement. MCO = Moindres Carrés Ordinaires. DOLS = Dynamic Ordinary Least Square et FMOLS = Fully Modified Ordinary Least Square. LNEN = logarithme de la consommation d'énergie, LNCO₂ = logarithme des émissions de CO₂, LNINVEST = logarithme du taux d'investissement et LNPIB = logarithme du PIB par tête.

Nous avons reporté dans le tableau III.5 les résultats de l'estimation de l'intensité des influences de long terme du PIB par tête, des émissions de CO₂ et de l'investissement sur la consommation d'énergie.

Il apparaît que la relation PIB - énergie dans les pays de l'UEMOA est statistiquement significative. L'une des relations hypothétiques définies dans la littérature est vérifiée ici. Il s'agit de l'hypothèse de conservation, qui stipule qu'il existe une relation de causalité unidirectionnelle de la croissance vers la consommation d'énergie. Ceci implique qu'une politique énergétique restrictive peut être mise en œuvre sans un risque de nuisance pour la croissance. Une croissance du PIB par tête de 1% entraîne un accroissement de la consommation d'énergie de plus de 0.2% au Burkina Faso, 0.45% au Niger et 0.61% au Sénégal. En revanche, la consommation d'énergie baisse de 0.19% au Bénin et en Côte d'Ivoire, de 0.39% au Mali et 0.14% au Togo lorsque ces pays réalisent un point de croissance.

Dans le cas des émissions de CO₂, les résultats indiquent de façon générale l'absence d'influence sur la consommation d'énergie. En effet, les estimateurs FMOLS et DOLS donnent des coefficients qui ne sont pas statistiquement significatifs pour chaque pays de l'UEMOA.

L'investissement a un impact significativement positif sur la consommation d'énergie dans la plupart des pays de l'Union sauf au Sénégal où son influence est négative mais nulle au Burkina Faso et au Niger. Il n'y a qu'au Sénégal où les investissements permettent de limiter ou de réduire la consommation d'énergie.

Tableau III.6 : Relations de causalité de long terme dans l'UEMOA (variable dépendante = LNCO₂)

	LNPIB			LNEN			LNINVEST		
Pays	MCO	DOLS	FMOLS	MCO	DOLS	FMOLS	MCO	DOLS	FMOLS
Bénin	2.006**	0.14***	0.07	0.05	0.90***	0.45	0.29***	-0.08	0.19
Burkina Faso	0.16	-0.02	0.06	0.47**	0.23	0.27	0.16	0.10	0.17
Côte d'Ivoire	-0.34	0.26***	-0.03	0.61**	-0.56	0.83**	-0.06	0.19	-0.11
Mali	-0.33	0.08**	-0.01	-0.01	0.23***	-0.01	0.05	0.09	-0.01
Niger	-0.55	0.21***	0.19**	0.51**	0.41**	0.44	-0.105	0.05	0.07
Sénégal	-0.48	0.32***	-0.003	0.17	0.30***	0.11	-0.006	-0.32***	-0.02
Togo	-0.22	0.22***	0.05	0.05	1.17***	0.10	0.17***	-0.08	0.10

Notes : (***) et (**) indiquent les niveaux de significativité aux seuils de 1 % et 5 % respectivement. MCO = Moindres Carrés Ordinaires. DOLS = Dynamic Ordinary Least Square et FMOLS = Fully Modified Ordinary Least Square. LNEN = logarithme de la consommation d'énergie, LNCO₂ = logarithme des émissions de CO₂, LNINVEST = logarithme du taux d'investissement et LNPIB = logarithme du PIB par tête.

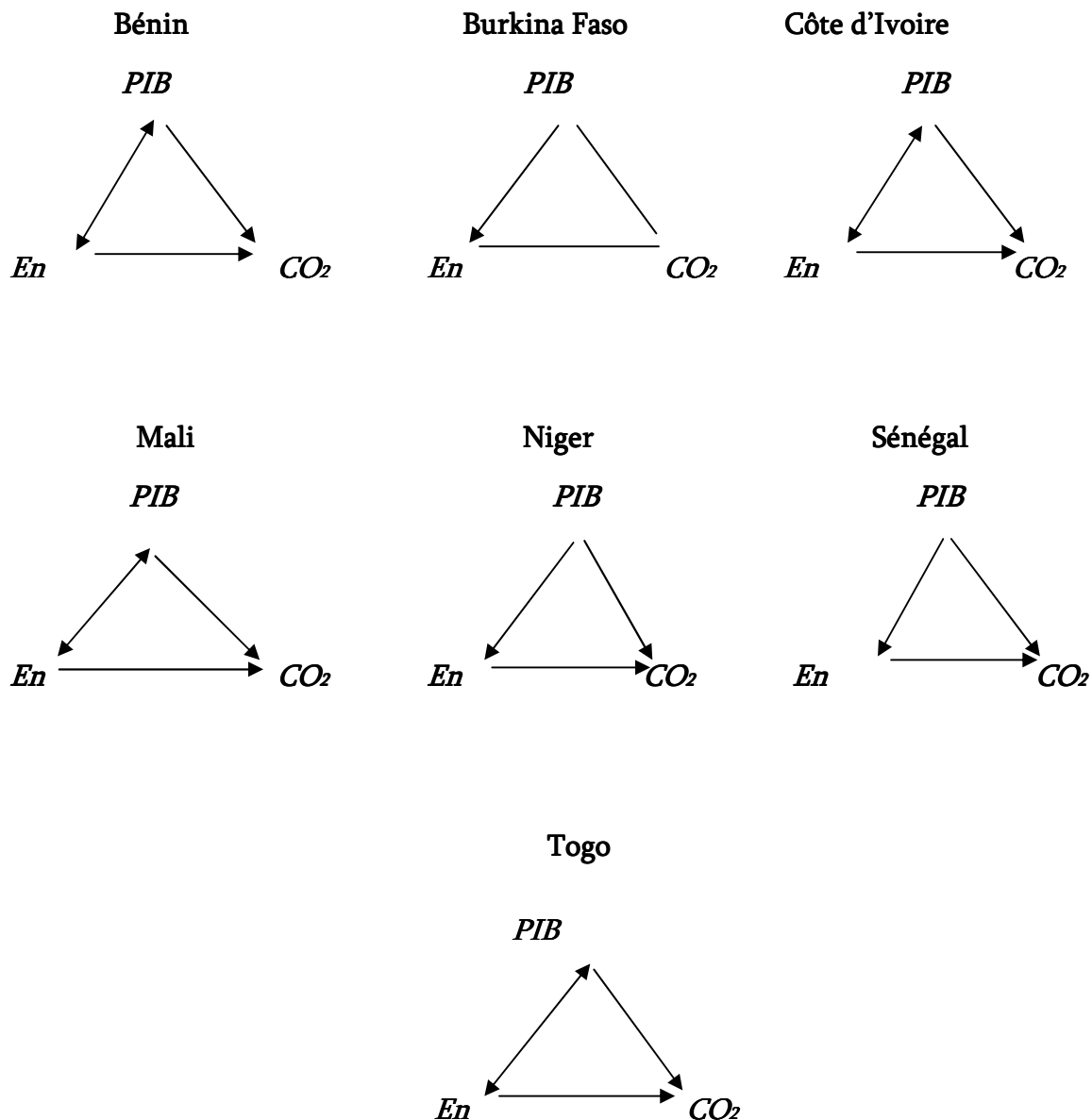
Le tableau III.6 donne les résultats de l'estimation des effets de long terme du PIB par tête, de la consommation d'énergie par tête et de l'investissement sur les émissions de CO₂ dans la zone UEMOA. Il apparaît que le PIB par tête ait un impact significatif dans tous les pays sauf au Burkina Faso sur les émissions de CO₂. Son effet est statistiquement positif au seuil de 1% dans la quasi-totalité des pays de l'Union. Un point de croissance du PIB par tête fait augmenter les émissions de CO₂ par tête de 0.14 % au Bénin, 0.26 % en Côte d'Ivoire, 0.08 % au Mali, 0.21 % au Niger, 0.32 % et 0.22 % au Sénégal et au Togo respectivement. L'activité est dans les pays de l'UEMOA une source de pollution.

Comme attendu, l'énergie a un impact positif sur les émissions de CO₂ au Bénin, en Côte d'Ivoire, au Mali, au Niger, au Sénégal et au Togo. Son impact est nul au Burkina Faso. L'accroissement de la consommation d'énergie de 1% est une source de pollution supplémentaire, en particulier d'émissions de CO₂ de 1.17% au Togo, 0.9% au Bénin, 0.83% en Côte d'Ivoire, 0.41% au Niger, 0.30% au Sénégal et 0.23% au Mali. Ces résultats peuvent indiquer la qualité de l'énergie utilisée dans ces pays, les énergies fossiles par exemple.

Les résultats du tableau montrent que l'investissement n'a pas d'influence sur les émissions de CO₂ dans les pays de l'Union, son impact est nul dans six pays sur sept. Seul le Sénégal affiche un coefficient statistiquement significatif. Un accroissement des investissements de 1% fait baisser les émissions de CO₂ de 0.32%. Ils indiquent que les investissements dans les pays de l'UEMOA ne sont pas orientés vers le secteur environnement.

A l'issue de la détermination des influences de long terme, nous pouvons de façon synthétique, établir pour tous les pays de l'Union des triangles de causalité entre le PIB par tête, la consommation d'énergie par tête et des émissions de CO₂ par tête.

Graphique III.1 : Triangles de causalité



En observant ces triangles de causalité, nous constatons des tendances générales. D'abord, les relations de causalité neutre sont rares dans l'Union. Seul le Burkina Faso affiche des relations de neutralité entre le PIB et le CO₂ d'une part et l'énergie et le CO₂ d'autre part. Ensuite, parmi les relations hypothétiques définies dans la littérature entre le PIB et l'énergie, deux d'entre elles sont vérifiées ici. Il s'agit de l'hypothèse de rétroaction qui décrit une relation bidirectionnelle entre le PIB et l'énergie. Cette hypothèse est vérifiée au Bénin, en Côte d'Ivoire, au Mali et au Togo. Dans le cas du Burkina Faso, du

PARTIE 2. CROISSANCE-ENVIRONNEMENT : UNE ANALYSE PAR PAYS

Niger et du Sénégal, c'est l'hypothèse de conservation qui est vérifiée. Cette dernière indique une relation de causalité unidirectionnelle du PIB vers l'énergie. Enfin, la consommation d'énergie et la croissance sont des sources de pollution dans la quasi-totalité des pays de l'Union sauf le Burkina Faso.

En définitive, les résultats montrent et confirment l'hétérogénéité des pays de l'Union. Les relations de causalité divergent essentiellement en intensité et les vitesses d'ajustement varient d'un pays à l'autre.

Tableau III.7 : Tableau récapitulatif

	PIB-ENERGIE	PIB-CO ₂	ENERGIE-CO ₂	OBSERVATIONS
BENIN	Bidirectionnelle Hypothèse de rétroaction	PIB cause CO ₂	Energie cause CO ₂	Mise en œuvre conjointe des politiques écono. Energ. Et envir.
BURKINA FASO	PIB cause énergie Hypothèse de conservation	Neutralité	Neutralité	Politiques intensives ou restrictives en énergie sans effets pervers
CÔTE D'IVOIRE	Bidirectionnelle Hypothèse de rétroaction	PIB cause CO ₂	Energie cause CO ₂	Mise en œuvre conjointe des politiques écono. Energ. Et envir.
MALI	Bidirectionnelle Hypothèse de rétroaction	PIB cause CO ₂	Energie cause CO ₂	Mise en œuvre conjointe des politiques écono. Energ. Et envir.
NIGER	PIB cause énergie Hypothèse de conservation	PIB cause CO ₂	Energie cause CO ₂	Mise en œuvre conjointe des politiques écono. Energ. Et envir.
SENEGAL	PIB cause énergie Hypothèse de conservation	PIB cause CO ₂	Energie cause CO ₂	Mise en œuvre conjointe des politiques écono. Energ. Et envir.
TOGO	Bidirectionnelle Hypothèse de rétroaction	PIB cause CO ₂	Energie cause CO ₂	Mise en œuvre conjointe des politiques écono. Energ. Et envir.

Notes : B-F = Burkina Faso, C-I = Côte d'Ivoire, écono. = économique, Energ. = énergétique et envir. = environnementale

VI – CONCLUSION

L'objectif de ce chapitre a été de déterminer les relations de causalité entre la consommation d'énergie par tête, le PIB par tête et les émissions de CO₂ par tête dans la zone UEMOA. Le taux d'investissement a été pris comme variable de contrôle. Pour atteindre notre objectif, nous avons utilisé des données annuelles sur 41 années allant de 1970 à 2010 et adopté une procédure en plusieurs étapes, des tests de stationnarité aux estimations DOLS et FMOLS en passant par les tests de cointégration et la détermination des vitesses d'ajustement de long terme par des estimations VECM.

Les tests de racine unitaire de Dickey & Fuller augmenté et de Phillips & Perron ont permis de montrer à l'unanimité que les séries du PIB par tête, de la consommation d'énergie par tête, des émissions de CO₂ par tête et du taux d'investissement ne sont pas stationnaires en niveau. Toutefois, leur différence première est stationnaire. Ces séries sont donc intégrées du même ordre 1 dans chaque pays de l'Union.

Après avoir établi l'ordre d'intégration des séries, nous avons examiné la présence ou non de relations de long terme entre elles pour chacun des pays membres de l'UEMOA. Nous avons pour cela utilisé les tests de cointégration de Johansen. Les résultats du test ont indiqué le rejet de l'hypothèse nulle d'absence de relations de cointégration. Il existe dans chaque pays au moins une relation de long terme entre les séries du PIB par tête, de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ par tête.

Les séries du PIB, de l'énergie et du CO₂ sont intégrées du même ordre et cointégrées, il est possible de déterminer les relations de causalité de court terme à travers un VECM. Les estimations VECM pour chaque pays de l'Union nous a permis de confirmer l'existence des relations de causalité de long terme et de calculer les vitesses d'ajustement lorsque le système s'écarte de sa trajectoire de long terme, à travers la significativité et le signe du terme de correction d'erreurs. Les résultats ont confirmé que dans chacun des pays de l'Union, il existe au moins une relation de causalité de long terme. Les vitesses d'ajustement, en cas de déviation, peuvent atteindre jusqu'à 0.88 %.

Pour déterminer le sens et l'intensité des influences des séries les unes sur les autres, nous avons adopté les méthodes d'estimation DOLS et FMOLS. Ces méthodes prennent en compte l'endogénéité des régresseurs et le problème d'autocorrélation, ce qui permet d'obtenir des estimateurs convergents, ce qui n'est pas toujours le cas pour l'estimateur MCO. Les résultats montrent que les relations de neutralité sont rares (entre le PIB et le CO₂, d'une part et l'énergie et le CO₂ d'autre part seulement au Burkina Faso). Au Bénin, en Côte d'Ivoire, au Mali et au Togo, la relation de long terme entre le PIB et l'énergie est bidirectionnelle et positive. Dans ce cas, la littérature indique que c'est l'hypothèse de rétroaction qui est vérifiée entre ces variables. Dans les autres pays de l'Union, c'est plutôt l'hypothèse de conservation qui est vérifiée ; la relation est unilatérale du PIB vers l'énergie. Sauf au Burkina Faso, la consommation d'énergie d'une part et la croissance d'autre part sont des sources de pollution dans les pays de l'UEMOA.

Il ressort globalement que les politiques économiques, énergétiques et environnementales dans chacun des pays membres de l'Union devront être nécessairement mises en œuvre de façon conjointe afin de créer à la fois de la croissance et de limiter au mieux les émissions de CO₂. Toutefois, les signes des coefficients de long terme estimés ne sont pas les mêmes pour tous les pays. Une question reste posée, les pays de l'Union peuvent-ils envisager de mettre en œuvre ces politiques en commun, c'est-à-dire à l'échelle de l'Union ? Les préalables à une telle initiative, sont la symétrie des chocs dans les différents secteurs concernés et la corrélation de ces chocs et des cycles.

ANNEXES

Tableau a1 : Résumé des études du lien énergie-croissance par des analyses en séries temporelles

Auteurs	Période	Pays	Méthodologie	Résultats
Kraft and Kraft (1978)	1947-1974	USA	Granger causalité	GDP → En
Akarca and Long(1980)	1950-1970	USA	Sim's technique	GDP — En
Yu and Hwang (1984)	1947-1979	USA	Sim's technique	GDP — En
Abosedra and Baghestani (1989)	1947-1987	USA	Cointegration and Granger causality	GDP → En
Hwang and Gum (1991)	1961-1990	Taiwan	Cointegration, error correction	GDP ↔ En
Yu and Jin (1992)	1974-1992	USA	Cointegration and Granger causality	GDP — En
Stern (1993)	1947-1990	USA	Multivariate VAR model	En → GDP
Cheng (1995)	1947-1990	USA	Cointegration and Granger causality	GDP — En
Cheng and Lai (1997)	1954-1993	Taiwan	Granger causality	GDP → En
Cheng (1998)	1952-1995	Japan	Hsiao's Granger causality	GDP → En
Cheng (1999)	1952-1995	India	Cointegration, ECM, Granger causality	GDP → En
Stern (2000)	1948-1994	USA	Cointegration, Granger causality	En → GDP
Soytas et al. (2001)	1960-1995	Turkey	Cointegration, Granger causality	En → GDP
Aqeel and But (2001)	1955-1996	Pakistan	Hsiao's version of Granger causality method, cointégration	GDP → En
Fatai et al. (2002)	1960-1999	New Zealand	Granger causality, ARDL, Toda and Yamamoto test	GDP — En
Glasure (2002)	1961-1990	Korea	Cointegration, error correction, variance decomposition	GDP ↔ En
Hondroyiannis et al. (2002)	1960-1999	Greece	Error correction model	GDP ↔ En
Altinay and Karagol (2004)	1950-2000	Turkey	Hsiao's version of Granger causality	GDP — En
Ghali and El-Sakka (2004)	1961-1997	Canada	Cointegration, VEC, Granger causality	GDP ↔ En
Paul and Bhattacharya (2004)	1950-1996	India	Cointegration, Granger causality	GDP ↔ En
Oh and Lee (2004)	1970-1999	Korea	Granger causality, ECM	En → GDP
Wolde-Rufael (2004)	1952-1999	Shanghai	A modified version of Granger causality (Toda and Yamamoto)	En → GDP
Lee and Chang (2005)	1954-2003	Taiwan	Johansen-Juselius, cointégration, VEC	En → GDP
Ang (2007)	1960-2000	France	Cointegration, VECM	En → GDP (in the short run)
Lee and Chang (2007a)	1955-2003	Taiwan	Granger causality, cointégration, VECM	En → GDP (low Energy use)
Jobert and Karanfil (2007)	1960-2003	Turkey	Granger causality test	GDP — En
Ho and Siu (2007)	1966-2002	Hong Kong	Cointégration, VEC model	En → GDP
Zamani (2007)	1967-2003	Iran	Granger	GDP → En
Lise and Van Monfort (2007)	1970-2003	Turkey	causality, Cointegration, VECM	GDP → En
Karanfil (2008)	1970-2005	Turkey	Cointegration test	GDP → En
Ang (2008)	1971-1999	Malaysia	Johansen cointégration, VEC model	GDP — En
Erdal et al. (2008)	1970-2006	Turkey	Pair-Wise Granger causality, Johansen cointégration	GDP → En
Bowden and Payne (2009)	1949-2006	USA	Toda-Yamamoto causality test	GDP ↔ En
Halicioglu (2009)	1960-2005	Turkey	Granger causality, ARDL, cointégration	En → GDP
Payne (2009)	1949-2006	USA	cointégration	GDP — En
Soytas and Sari (2009)	1960-2000	Turkey	Toda-Yamamoto causality test	GDP — En
Belloumi (2009)	1971-2004	Tunisia	Toda-yamamoto causality test	GDP — En
Zhang and cheng (2009)	1960-2007	China	Granger causality, VECM	En ↔ GDP in sr En → GDP in lr GDP → En

PARTIE 2. CROISSANCE-ENVIRONNEMENT : UNE ANALYSE PAR PAYS

Tableau a2: Résumé des études du lien de causalité énergie-croissance par des analyses en panel

Auteurs	période	Pays	Méthodologie	résultats
Yu and Choi (1985)	1950-1976	5 pays	Granger causality	GDP \rightarrow En (USA, UK, Poland) ; GDP \rightarrow En (Korea) En \rightarrow GDP (Philippines)
Erol and Yu (1987)	1952-1982	6 pays industrialisés	Granger causality	GDP \leftrightarrow En (Jalan) ; GDP \rightarrow En (Italy, Germany) En \rightarrow GDP (Canada) ; GDP \rightarrow En (France, UK)
Nachane et al. (1988)	1950-1985	16 pays	Coitegration, Sms and Granger causality	GDP \rightarrow En (except Venezuela and Colombia)
Mashi (1996)	1955-1990	6 pays asiatiques	Cointegration, error correction model	En \rightarrow GDP (India) ; GDP \rightarrow En (Indoneia) GDP \leftrightarrow En (Pakistan) ; GDP \rightarrow En (Malaysia, philippines, Singapore)
Mashi (1997)	1952-1992	Taiwan	Cointegration, VEC, Variance	GDP \leftrightarrow En
	1955-1991	Korea		En \rightarrow GDP
Glasure and Lee (1997)	1961-1990	South Korea, Singapore	Cointegration, Granger causality	GDP \rightarrow En (South korea) En \rightarrow GDP (Singapore)
Asafu-Adjaye (2000)	1971-1995	Philippines, Thailand	Cointegration and granger causality based on ECM	GDP \leftrightarrow En (Philippines, Thailand)
	1973-1995	India, indonesia		En \rightarrow GDP (India, Indonesia)
Soytas and Sari (2003)	1950-1992	7 pays	Cointégration and Granger causality	GDP \leftrightarrow En (Argentina) ; GDP \rightarrow En (Italy, Korea) En \rightarrow GDP (Turkey, France, Japan, Germany)
Lee (2005)	1975-2001	18 PVD	Panel VECM	En \rightarrow GDP
Wolde-Rufael (2005)	1971-2001	19 pays Africains	Toda-Yamamoto's Granger causality	GDP \rightarrow En (Algeria, RDC, Egypt, Ghana, Ivory Cost) En \rightarrow GDP (Cameroon, Morocco, Nigeria) GDP \leftrightarrow En (Gabon, Zambia) GDP \rightarrow En (Benin, Congo RP, Kenya, Senegal, South Africa, Sudan, Togo, Tunisia, Zimbabwe)
Lee (2006)	1960-2001	11 pays développés	Granger causality	GDP \rightarrow En (Germany, UK) ; GDP \leftrightarrow En (Sweeden, USA) En \rightarrow GDP (Belgium, Netherlands, Canada, Switzerland)
Soytas and Sari (2006)	1960-2004	G-7	Multivariate cointégration, ECM, Generalized variance decompositions	GDP \rightarrow En (France, Italy, Japan) GDP \rightarrow En (Germany) En \rightarrow GDP (France, USA) GDP \leftrightarrow En (Canada, Italy, Japan, UK)
Al-Iriani (2006)	1970-2002	6 pays	Panel cointegration, GMM	GDP \rightarrow En (Bahrain, Kuwait, UAE Oman, Qatar, Saudi Arabia)
Francis et al. (2007)	1971-2002	4 pays	BVAR models, cointégration	GDP \leftrightarrow En (in short run for three countries) GDP \rightarrow En (in long run for Haiti and Jamaica) GDP \leftrightarrow En (in long run for Trinidad and Tobago)
Mehrara (2007)	1971-2002	11 pays exportateurs de pétrole	Panel cointégration	GDP \rightarrow En (Iran, Kuwait, UAE, Saudi Arabia, Bahrain, Oman, Algeria, Nigeria, Mexico, Ecuador, Venezuela)
Lee and Chang (2007b)	1965-2002	22 pays développés	Panel VARs and GMM	GDP \rightarrow En (for developing countries) GDP \leftrightarrow En (for developed countries)
Mahadevan, Asafu-Adjaye (2007)	1971-2002	20 pays	Panel error correction model	En \leftrightarrow GDP (developed countries) En \rightarrow GDP (in the short run for developing countries)
Akinlo (2008)	1980-2003	11 pays	Autoregressive distributed lag (ARDL) bounds test	GDP \rightarrow En (Gambia, Ghana, Sudan, Zimbabwe, Congo, Senegal) GDP \rightarrow En (Cameroon, Côte d'Ivoire, Nigeria, Kenya, Togo)
Chiou-Wei et al. (2008)	1954-2006	Asian countries and USA	Granger causality	GDP \rightarrow En (USA, Thailand, South korea) GDP \rightarrow En (Philippines, Singapore)
Lee and al. (2008)	1960-2001	22 pays de l'OCDE	Panel cointégration Panel VEC model	En \rightarrow GDP (Taiwan, Hong Kong, Malaysia, Indonesia) GDP \leftrightarrow En
Huang et al. (2008)	1972-2002	82 pays	Panel VAR, GMM model	GDP \rightarrow En (middle and high-income countries) GDP \rightarrow En (low-income countries)
Narayan and smyth (2008)	1972-2002	G-7	Panel cointégration Granger causality	En \rightarrow GDP

Suite du tableau a2

Auteurs	Période	Pays	Méthodologie	Résultats
Lee and Chang (2008)	1971-2002	16 pays asiatiques	Panel cointégration and panel ECM	En → GDP (in the long run) En — GDP (in the short run)
Okey (2009)	1970-2005	4 pays de l'UEMOA	Cointegration, Granger causality test	GDP ↔ En (in the short run)
Aspergis and Payne (2009a)	1980-2004	6 pays d'Amérique Centrale	Panel cointegration, error correction model	En → GDP (Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panama)
Aspergis and Payne (2009b)	1991-2005	11 pays indépendants du Commonwealth	Panel cointégration, error correction model	En ↔ GDP in the long run En → GDP in short run (Armenia, Azerbaijan, Belarus, Georgia, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Moldova, Russia, Tajikistan, Ukraine, Uzbekistan)
Aspergis and Payne (2009c)	1971-2004	6 pays d'Amérique Centrale	Panel vector error correction model	En ↔ GDP in the short run

Note: GDP En signifie que le PIB cause la consommation d'énergie (hypothèse de conservation)

En → GDP, signifie que l'énergie cause le PIB (hypothèse de croissance)

GDP ↔ En, signifie que l'énergie et le PIB se cause mutuellement (hypothèse de rétroaction)

GDP — En, signifie qu'il n'y a aucune relation entre l'énergie et le PIB (hypothèse de neutralité)

sr = short run ; lr = long run

Tableau a3 : Sélection du nombre de retards optimal

BENIN

Variables endogènes : LNPIB LNEN LNCO2 LNINVEST

Variable exogène : constante

Retard	AIC	SBC	HQ
0	2118, 59	2132, 32	2124, 10
1	659, 16	727, 07*	686, 00
2	618, 47	739, 40	665, 45
3	578, 93*	751, 61	644, 80*
4	607, 49	830, 60	690, 93

BURKINA FASO

Variables endogènes : LNPIB LNEN LNCO2 LNINVEST

Variable exogène : constante

Retard	AIC	SBC	HQ
0	2118, 59	2132, 32	2124, 10
1	659, 16	727, 07*	686, 00
2	618, 47	739, 40	665, 45
3	578, 93*	751, 61	644, 80*
4	607, 49	830, 60	690, 93

CÔTE D'IVOIRE

Variables endogènes : LNPIB LNEN LNCO2 LNINVEST

Variable exogène : constante

Retard	AIC	SBC	HQ
0	2118, 59	2132, 32	2124, 10
1	659, 16	727, 07*	686, 00
2	618, 47	739, 40	665, 45
3	578, 93*	751, 61	644, 80*
4	607, 49	830, 60	690, 93

MALI

Variables endogènes : LNPIB LNEN LNCO2 LNINVEST

Variable exogène : constante

Retard	AIC	SBC	HQ
0	2118, 59	2132, 32	2124, 10
1	659, 16	727, 07*	686, 00
2	618, 47	739, 40	665, 45
3	578, 93*	751, 61	644, 80*
4	607, 49	830, 60	690, 93

NIGER

Variables endogènes : LNPIB LNEN LNCO2 LNINVEST

Variable exogène : constante

Retard	AIC	SBC	HQ
0	2118, 59	2132, 32	2124, 10
1	659, 16	727, 07*	686, 00
2	618, 47	739, 40	665, 45
3	578, 93*	751, 61	644, 80*
4	607, 49	830, 60	690, 93

SENEGAL

Variables endogènes : LNPIB LNEN LNCO2 LNINVEST

Variable exogène : constante

Retard	AIC	SBC	HQ
0	2118, 59	2132, 32	2124, 10
1	659, 16	727, 07*	686, 00
2	618, 47	739, 40	665, 45
3	578, 93*	751, 61	644, 80*
4	607, 49	830, 60	690, 93

TOGO

Variables endogènes : LNPIB LNEN LNCO2 LNINVEST

Variable exogène : constante

Retard	AIC	SBC	HQ
0	2118, 59	2132, 32	2124, 10
1	659, 16	727, 07*	686, 00
2	618, 47	739, 40	665, 45
3	578, 93*	751, 61	644, 80*
4	607, 49	830, 60	690, 93

Notes : (*) indique le choix du nombre de retards par le critère d'information correspondant, AIC (Akaike), SBC (Schwartz) et HQ (Hannan-Quinn au seuil de 5 %).

CHAPITRE IV :

ANALYSE DES CHOCS

CHAPITRE IV : ANALYSE DES CHOCS

I – INTRODUCTION

Le présent chapitre se propose d'évaluer la symétrie des chocs de production, des chocs énergétiques et des chocs environnementaux dans l'UEMOA de 1970 à 2010, d'analyser les fonctions de réponse impulsionnelles et la décomposition de la variance de l'erreur de prévision. Symétrie ici veut dire que les pays qui forment l'Union se retrouvent dans les mêmes phases d'expansion ou de récession au même moment. En d'autres termes ils ressentent les chocs de la même manière et y répondent de façon identique et synchrone, sinon l'on parle d'asymétrie. Les buts visés sont d'une part, de déterminer les effets des chocs dans les secteurs concernés et d'autre part, de trouver les sources des fluctuations des différentes variables de l'étude. En effet, la symétrie des chocs entre les pays est la condition idéale et optimale pour la mise en œuvre de politiques communes dans un quelconque secteur par un ensemble de pays. La condition de symétrie permet de s'assurer que la politique commune pourra être stabilisatrice pour tous les pays. L'objectif principal ici est de déterminer si les pays de l'UEMOA réagissent de la même manière aux chocs d'offre, énergétique et de pollution.

Cette analyse est faite en trois étapes. Nous identifions d'abord les chocs, puis mesurons la corrélation des chocs énergétiques, des chocs de pollution et des chocs d'offre pour enfin tracer les fonctions de réponse et faire la décomposition de la variance des erreurs de prévision. L'identification des chocs est menée par la méthode VAR structurel avec des restrictions de long terme, empruntées aux résultats du chapitre précédent qui porte sur la détermination des relations de causalité.

Les résultats montrent que les différents chocs ne sont pas symétriques dans la zone UEMOA. En d'autres termes, les impacts des innovations dans les secteurs de l'énergie, de l'environnement et de l'activité de production ne sont pas similaires dans tous les pays. Les fonctions de réponse et la décomposition de la variance de l'erreur de prévision

permettent de confirmer l'asymétrie des chocs énergétiques et de pollution essentiellement. Ces résultats sont en conformité avec les résultats des chapitres précédents et confirment l'hétérogénéité des pays de l'Union. Ce qui permet de dire que l'UEMOA n'est pas encore une zone énergétique et environnementale optimale.

La suite du chapitre est organisée de la façon suivante. La section 2 fait l'analyse des chocs. Cette étape permet d'identifier et de représenter les chocs pour chacun des pays de l'Union et de les comparer. La section 3 mesure la corrélation des séries et des chocs. Selon la CEA/BSR-AC (Commission Economique pour l'Afrique/Bureau Sous-Régional pour l'Afrique Centrale, 2007), les coefficients de corrélation bilatérale entre les composantes cycliques et les chocs des différents pays peuvent être utilisés comme une mesure statistique de la symétrie entre les pays. La section 4 traite les fonctions de réponse impulsionnelles et la décomposition de la variance de l'erreur de prévision, pour mesurer et représenter graphiquement les réactions des variables aux différents chocs d'une part et les sources des fluctuations d'autre part. La section 5 conclut.

II – ANALYSE DES CHOCS

Le traité instituant l'UEMOA en janvier 1994 engage les Etats membres à réaliser une intégration économique complète couvrant tous les secteurs de leurs économies. Le succès du processus d'unification d'une telle union repose sur l'harmonisation à long terme des politiques économiques nationales. L'harmonisation au niveau monétaire est déjà une réalité dans la zone et des critères de convergence sont établis au niveau fiscal. Les secteurs de l'énergie et de l'environnement sont aussi inscrits dans les objectifs de l'Union dans son processus d'intégration régionale. Pour que l'Union soit économiquement viable et avantageuse il est nécessaire que les chocs soient symétriques. Nous évaluons la symétrie statistique des chocs d'offre, des chocs énergétiques et de pollution dans cette partie en calculant les coefficients de corrélation entre les pays. Mais avant nous faisons l'identification et la représentation des chocs.

Cette section se propose d'évaluer la symétrie des chocs dans l'UEMOA de 1970 à 2010. Les séries considérées sont le PIB par tête (en \$US constant), nous utilisons comme Narayan et al. (2008), la consommation d'énergie par tête (en Kilotonne équivalent pétrole) et enfin les émissions de CO₂ par tête (en tonne métrique).

L'étude est faite en deux étapes. La première étape, par la méthode SVAR, calcule et représente les différents chocs. Il ressort que les chocs d'offre, les chocs énergétiques et de pollution entre pays sont asymétriques. La seconde partie porte sur le calcul des coefficients de corrélation des différents chocs entre pays, complété par le calcul des coefficients de corrélation bilatérale entre les composantes cycliques. En effet, ces coefficients de corrélation sont des mesures de la symétrie selon la CEA/BSR-AC (2007). Ces deux approches sont complémentaires, elles ont été largement utilisées pour étudier les questions d'unification monétaire en Europe (CEA/BSR-AC, 2007). Il apparaît que les cycles du PIB sont relativement corrélés, ceux de l'énergie et du CO₂ le sont moins. En revanche, les chocs entre pays sont quasi non corrélés.

L'identification des chocs a fait l'objet de nombreuses études, principalement dans la formation des unions monétaires en vue de s'inscrire dans la logique de la théorie des zones monétaires optimales, introduite par Mundell (1961). La corrélation des chocs est un des principaux critères qui déterminent l'opportunité de la mise en place d'une union monétaire. En effet les pays membres d'une union monétaire perdent la capacité de mener des politiques monétaires indépendantes, perdant ainsi l'arme de change comme instrument d'ajustement. Toutefois l'intérêt est de mener des politiques à l'échelle de l'union et d'en retirer des gains de bien-être à travers la réduction des coûts de transaction et des incertitudes de tout ordre.

Cette partie s'inscrit dans la philosophie globale de la théorie des zones monétaires optimales. Elle s'en distingue toutefois par son caractère plus large. Nous étudions ici la corrélation des chocs de production, des chocs énergétiques et de pollution au sein d'une

union monétaire, l'UEMOA. Si ces chocs sont positivement corrélés entre les membres il est opportun de mettre en œuvre des politiques à l'échelle de l'Union pour corriger les déséquilibres, comme l'a indiqué Mundell (1961) dans sa théorie des zones monétaires optimales.

Cette section est structurée de la façon suivante. La première partie expose la méthodologie standard d'identification des chocs ; la méthode VAR (Vecteur Autorégressif) structurel et la seconde partie calcule la corrélation bilatérale des chocs entre les pays de l'UEMOA.

De nombreuses études se sont penchées sur la corrélation des chocs au sein d'un groupe de pays dans le cadre de l'analyse de l'opportunité d'une union monétaire entre ces pays. Ces études ont principalement adopté la méthode VAR proposée par Bayoumi et Eichengreen (1993), qui est devenue l'approche standard pour étudier l'asymétrie des chocs au sein d'un groupe de pays. Nous mettons en œuvre la méthodologie VAR structurel (SVAR) dans ce chapitre pour déterminer si les chocs économiques, énergétiques et environnementaux sont symétriques ou non dans la zone UEMOA. Un modèle est structurel seulement si l'on peut l'utiliser pour prédire les effets d'actions délibérées ou de changements majeurs dans l'économie (Narayan et al. , 2008). Un VAR structurel permet de poser des restrictions de court et de long terme, ce que ne permet pas le VAR.

➤ *La méthodologie SVAR : présentation*

L'identification économétrique des chocs relève de la littérature VAR et notamment de l'article fondateur de Blanchard et Quah (1989). Nous adoptons cette procédure à l'instar de De Serres et Lalondes (1994), de Clarida et Gali (1994), N'Goma (2000), Garatti (2003a et 2003b).

Supposons que les taux de croissance du PIB, de la consommation d'énergie, des émissions de CO₂, suivent un processus stochastique stationnaire auxquels répondent trois

chocs orthogonaux. Il s'agit ici des chocs d'offre (ε_y), des chocs énergétiques (ε_e), des chocs environnementaux (ε_p).

Le modèle structurel peut s'écrire sous forme moyenne mobile comme suit :

$$X_t = A_0 \varepsilon_t + A_1 \varepsilon_{t-1} + \dots \quad (1)$$

$$= \sum_{i=0}^{\infty} L^i A_i \varepsilon_t \quad (2)$$

Avec X_t un vecteur de variables stationnaires que sont les différences premières du logarithme du PIB par tête, du logarithme de la consommation d'énergie, du logarithme des émissions de CO₂. Nous avons également un nombre de chocs (ε_t) égal à celui des variables. (L) est l'opérateur de retard et les A_i sont les matrices qui représentent les impulsions des fonctions de réponse aux chocs des variables du vecteur X_t .

La forme réduite moyenne mobile de l'équation (2) s'écrit :

$$\begin{bmatrix} \Delta y_t \\ \Delta En_t \\ \Delta CO2_t \end{bmatrix} = \sum_{i=0}^{\infty} L^i \begin{bmatrix} a_{11i} & a_{12i} & a_{13i} \\ a_{21i} & a_{22i} & a_{23i} \\ a_{31i} & a_{32i} & a_{33i} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_t^y \\ \varepsilon_t^e \\ \varepsilon_t^p \end{bmatrix} \quad (3)$$

Les $a_{.i}$ sont les éléments de la matrice A_i définie plus haut. $\begin{bmatrix} \Delta y_t \\ \Delta En_t \\ \Delta CO2_t \end{bmatrix}$ est la matrice des

variables du modèle et $\begin{bmatrix} \varepsilon_t^y \\ \varepsilon_t^e \\ \varepsilon_t^p \end{bmatrix}$ est la matrice des perturbations indépendantes à long terme

du PIB (ε_t^y), de la consommation d'énergie (ε_t^e) et des émissions de CO₂ (ε_t^p). Nous supposons pour simplifier l'identification, ce qui usuel dans la littérature des VAR, que les variances des chocs structurels suivent une loi normale, ce qui permet d'écrire :

$$E(\varepsilon_t \varepsilon_t') = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{ et } E(\varepsilon_t \varepsilon_{t+i}') = 0, \forall i \neq 0, \text{ dans ce cas les chocs ne sont pas corrélés}$$

entre eux et ont une variance unitaire.

Le vecteur des perturbations structurelles ε_t n'est pas observable. Dans ces conditions, l'équation (3) ne peut pas être estimée directement selon Corthinas (2006).

Suivant la méthode de décomposition de Blanchard et Quah (1989), nous supposons e_t le vecteur des résidus estimés du VAR tel que: $e_t = C \varepsilon_t$

Le vecteur des résidus estimé e_t est une représentation linéaire du vecteur des chocs structurels inobservables ε_t . Nous pouvons estimer le VAR suivant où les B sont les coefficients estimés et X_t un vecteur de variables stationnaires:

$$\begin{aligned} X_t &= B_1 X_{t-1} + B_2 X_{t-2} + \dots + B_n X_{t-n} + e_t \\ &= [(I - B(L))]^{-1} e_t \\ &= [I + B(L) + B(L)^2 + B(L)^3 + \dots] e_t \end{aligned} \quad (4)$$

En développant nous avons $X_t = e_t + D_1 e_{t-1} + D_2 e_{t-2} + D_3 e_{t-3} \dots$,

Où $e_t B(L)^i = D_i e_{t-i}$

$$\text{Sous forme matricielle } \begin{bmatrix} \Delta y_t \\ \Delta En_t \\ \Delta CO2_t \end{bmatrix} = \sum_{i=1}^{\infty} \begin{bmatrix} d_{11i} & d_{12i} & d_{13i} \\ d_{21i} & d_{22i} & d_{23i} \\ d_{31i} & d_{32i} & d_{33i} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} e_t^y \\ e_t^e \\ e_t^p \end{bmatrix} \quad (5)$$

e_t^y, e_t^e, e_t^p sont les résidus estimés des équations du PIB, de l'énergie et des émissions de CO₂.

Des systèmes (3) et (5) on en déduit l'équation (6) :

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} e_t^y \\ e_t^e \\ e_t^p \end{bmatrix} &= \left[\sum_{i=1}^{\infty} \begin{bmatrix} d_{11i} & d_{12i} & d_{13i} \\ d_{21i} & d_{22i} & d_{23i} \\ d_{31i} & d_{32i} & d_{33i} \end{bmatrix} \right]^{-1} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} L^i \begin{bmatrix} a_{11i} & a_{12i} & a_{13i} \\ a_{21i} & a_{22i} & a_{23i} \\ a_{31i} & a_{32i} & a_{33i} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_t^y \\ \varepsilon_t^e \\ \varepsilon_t^p \end{bmatrix} \\ &= C \cdot \begin{bmatrix} \varepsilon_t^y \\ \varepsilon_t^e \\ \varepsilon_t^p \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{avec } C = \left[\sum_{i=1}^{\infty} \begin{bmatrix} d_{11i} & d_{12i} & d_{13i} \\ d_{21i} & d_{22i} & d_{23i} \\ d_{31i} & d_{32i} & d_{33i} \end{bmatrix} \right]^{-1} \cdot \sum_{i=0}^{\infty} L^i \begin{bmatrix} a_{11i} & a_{12i} & a_{13i} \\ a_{21i} & a_{22i} & a_{23i} \\ a_{31i} & a_{32i} & a_{33i} \end{bmatrix}$$

Pour identifier les chocs structurels $\varepsilon_t^y, \varepsilon_t^e$ et ε_t^p , il suffit d'identifier les éléments de la matrice C, comme l'indique l'équation (6). Il est nécessaire de poser certaines restrictions au modèle pour le rendre identifiable. Nous devons poser au minimum

$n(n + 1)/2 = 9$ restrictions dans notre cas aux éléments de la matrice C afin de réduire le nombre des inconnues au moins égal au nombre des paramètres estimés de la matrice de variance-covariance $E(e_t e_t') = CC' = \Sigma$ des innovations e_t^y, e_t^e et e_t^p puisque nous avons une matrice carrée d'ordre $n = 3$.

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{32} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix}$$

Nous avons supposé plus haut que les chocs structurels $\varepsilon_t^y, \varepsilon_t^e$ et ε_t^p ne sont pas corrélés et la matrice de variance-covariance, qui est supposée suivre une loi normale, est la matrice identité. De cette manière, selon Corthinas (2006), la condition d'orthogonalité impose six restrictions non linéaires sur les éléments de la matrice C . Les contraintes d'orthogonalité ont une justification plus technique qu'économique véritablement. Ce qui constitue la faiblesse de cette méthode. Il n'existe toutefois pas encore d'études empiriques remettant en question les contraintes d'orthogonalité. L'orthogonalisation, selon Sims (1980), autorise une décomposition de la variance de l'erreur de prévision correspondant aux différentes séries comme somme des contributions des différents chocs structurels. Il reste trois restrictions qui portent sur les réponses du système aux différentes impulsions structurelles, à faire sur les éléments de la matrice C . Pour cela plusieurs méthodes ont été proposées dans la littérature selon Sarr et N'Diaye (2010).

La façon la plus simple d'imposer les contraintes supplémentaires qui est purement statistique est celle proposée par Choleski. Il s'agit de décomposer la matrice de variance Σ , définie comme l'unique matrice triangulaire inférieure C tel que $\Sigma = CC'$. Cette méthode a une exigence, le choix de l'ordre des séries qui doivent être rangées de la série la plus exogène à la série la plus endogène. Dans notre cas, le PIB a une influence dans tous les pays de l'UEMOA sur la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ (voir les résultats dans le chapitre III). L'énergie influence les émissions de CO₂ dans tous les pays sauf au Burkina Faso et aussi sur le PIB, mais que dans certains pays. Le CO₂ n'a pas d'influence sur le PIB et l'énergie. L'ordre des séries s'établirait donc de la façon suivante : le PIB en première ligne, puis l'énergie en deuxième ligne et enfin le CO₂.

L'orthogonalisation par la décomposition de Choleski a été beaucoup critiquée et d'autres méthodes ont été proposées. L'une des plus anciennes est celle de Blanchard et Quah (1989) qui consiste à poser des restrictions de long terme inspirées de la théorie économique. Gali (1992) propose de combiner des restrictions de court terme et de long terme, ce qui est une extension naturelle, selon Jordan et Lenz (1999), de l'une des premières approches VAR qui proposait d'imposer soit uniquement des restrictions de court terme, ou uniquement des restrictions de long terme. Quant à Montford et Uhlig (2005), tout comme Faust (1998), Canova and Pina (1998) et autres, ils introduisent des restrictions de signe. Toutefois Narayan et al. (2008) indiquent que les restrictions sont fonction du modèle estimé. Ainsi pour eux, un modèle SVAR permet d'imposer à la fois des restrictions de court terme et de long terme inspirées de la théorie économique. Toutefois selon Gali (1992), les restrictions de court terme sont supportées soit par des preuves empiriques indépendantes, soit par la théorie économique. Le choix de poser des restrictions de court terme n'altère vraiment pas les résultats de l'identification dans la mesure où selon Jordan et Lenz (1999), les réponses des variables aux différents chocs dépendent de façon critique des hypothèses de stationnarité, mais l'influence des restrictions d'identification des chocs est moins importante.

Dans le chapitre précédent, nous avons estimé les relations de causalité de long terme entre les séries du PIB par tête, de la consommation d'énergie par tête et des émissions de CO₂ par tête. Nous pouvons donc poser des contraintes de long terme supportées par des preuves empiriques et/ou théoriques. Nous supposons que les chocs d'offre ont seul un effet permanent sur le taux de croissance. Les chocs énergétiques et les chocs de pollution de leur côté ne peuvent exercer qu'un effet transitoire sur le taux de croissance. Nous pouvons illustrer un choc énergétique par le fait qu'il correspond à une modification de la demande d'énergie. Nous faisons aussi l'hypothèse d'une neutralité à long terme des chocs de pollution. A l'inverse du choc énergétique, le choc de pollution n'a aucun effet de long terme sur l'énergie. Nous pouvons supposer que nos contraintes sont supportées par nos résultats empiriques antérieurs (chapitre III). Ces restrictions et les

conditions d'orthogonalité peuvent permettre d'identifier le modèle. Notons que la matrice C pour chaque pays est :

$$C_i = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{32} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix}$$

Par hypothèse les chocs énergétiques et les chocs de pollution n'ont pas d'effet de long terme sur le taux de croissance. Nous pouvons donc écrire que :

$$c_{12} = c_{13} = 0$$

Le choc de pollution n'a pas d'effet à long terme sur la consommation d'énergie, nous pouvons noter que :

$$c_{23} = 0$$

$$C_i = \begin{bmatrix} c_{11} & 0 & 0 \\ c_{21} & c_{22} & 0 \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{bmatrix}$$

Nous aboutissons à l'issue de notre méthode d'identification la méthode de décomposition de Choleski.

➤ *Analyse des chocs*

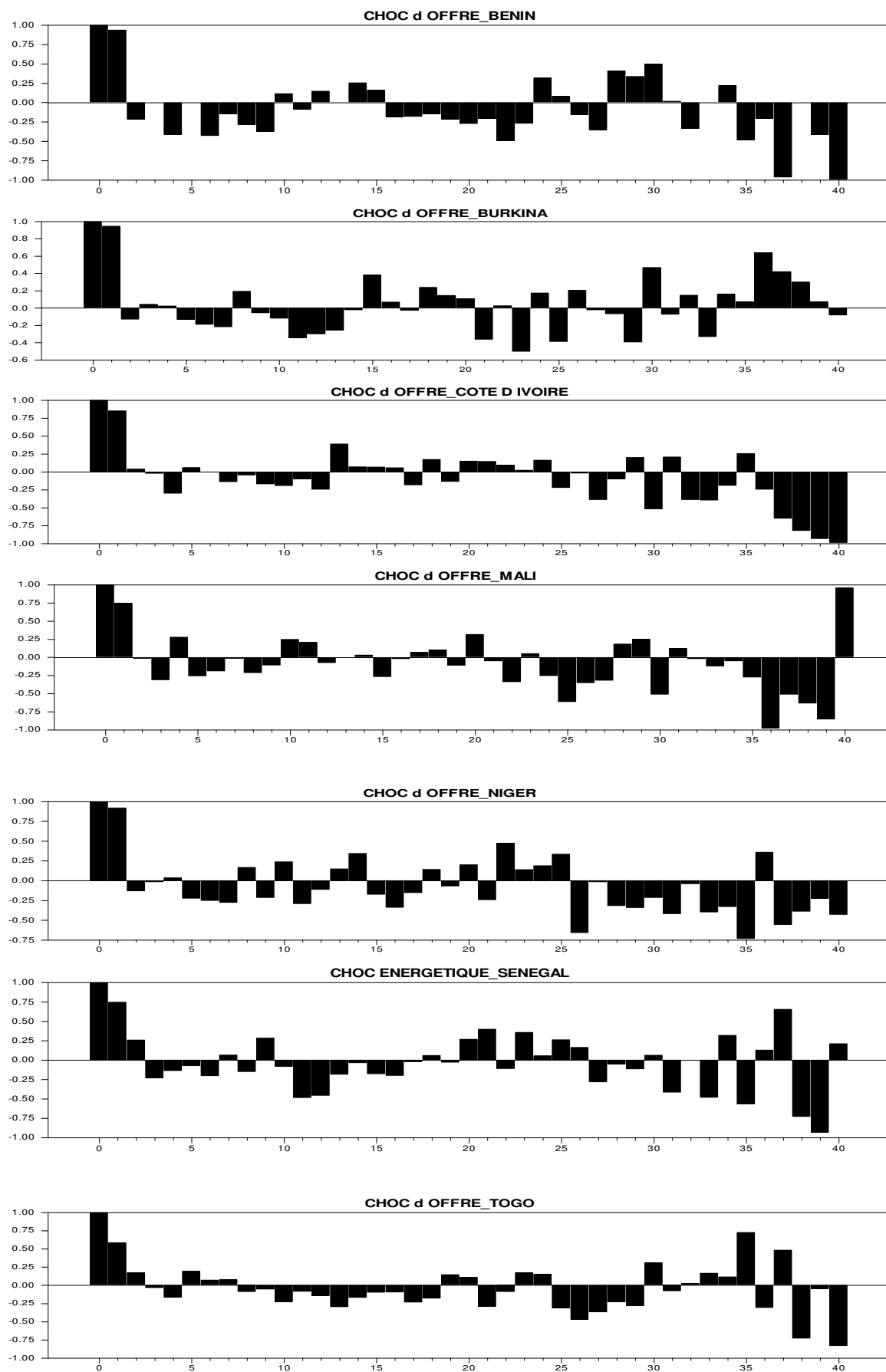
Avant d'estimer le modèle et de calculer les chocs, il est nécessaire de s'assurer de la stationnarité des séries et tester la cointégration dans le cas où toutes les séries sont intégrées du même ordre. Les tests de racine unitaire des variables PIB par tête, consommation d'énergie par tête et émissions de CO₂ par tête ont été déjà effectués dans le chapitre précédent.

Nous pouvons maintenant identifier les innovations de chaque variable pour chaque pays et les représenter graphiquement. Ce qui nous permet de faire une comparaison entre pays afin de détecter la symétrie ou non (asymétrie) des chocs dans l'UEMOA. La méthodologie VAR structurel consiste à transformer des résidus issus d'un VAR canonique en des chocs structurels pouvant être interprétés de façon économique.

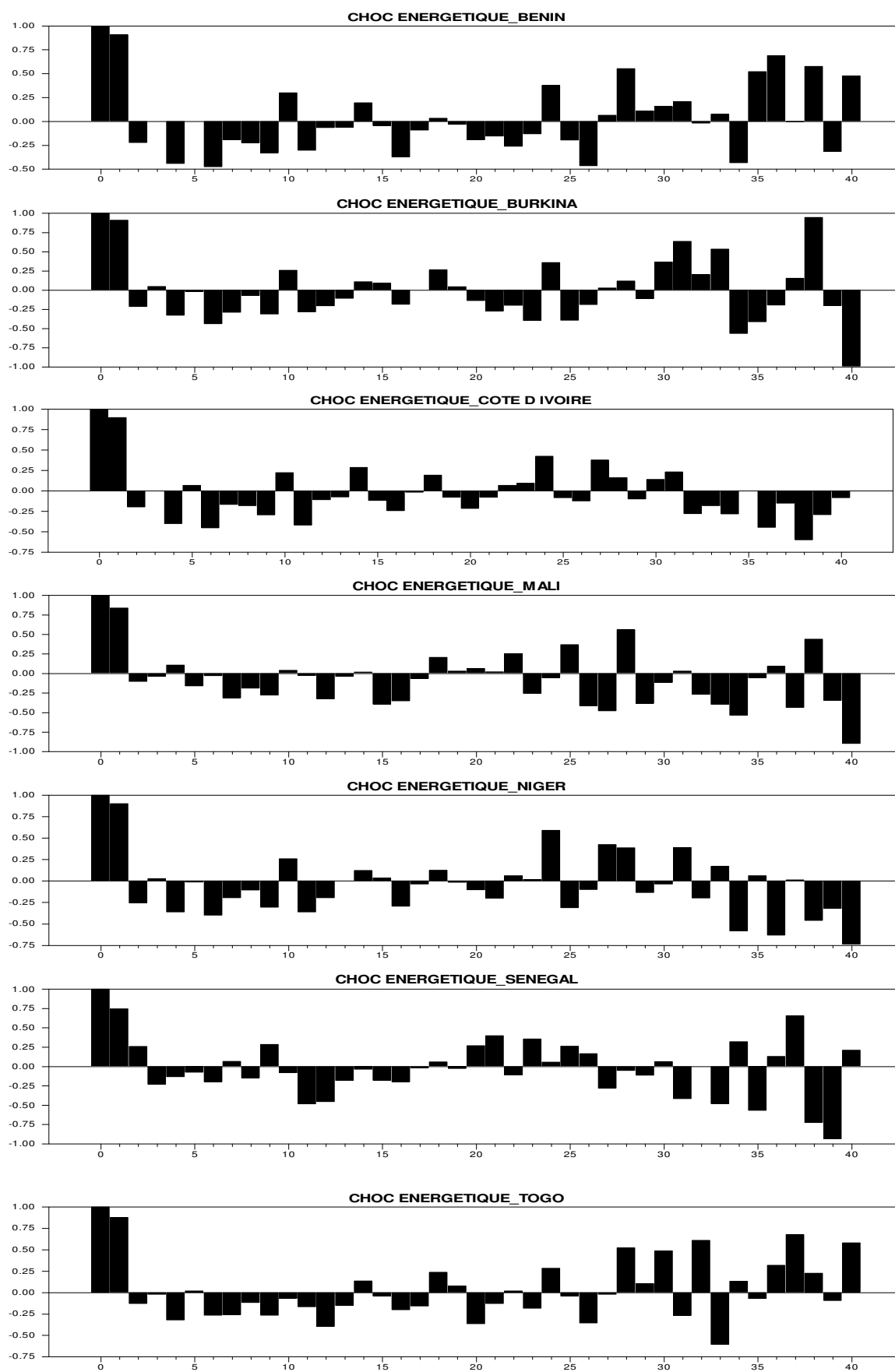
Les résidus du modèle VAR canonique représentent la partie non prévisible, compte tenu de l'information provenant des réalisations passées des variables du système. Une multitude de chocs, dont la propagation se traduit par des fluctuations du système dynamique étudié, sont captés par ces résidus canoniques. Pour autant, ceux-ci ne constituent pas des chocs structurels et la méthode VAR structurel permet de les transformer en chocs.

Les graphiques qui suivent présentent les chocs d'offre, les chocs énergétiques et les chocs de pollution dans l'UEMOA. Chaque pic représente un choc. Tout pic au dessus de zéro représente un choc positif et tout pic en dessous de zéro représente un choc négatif.

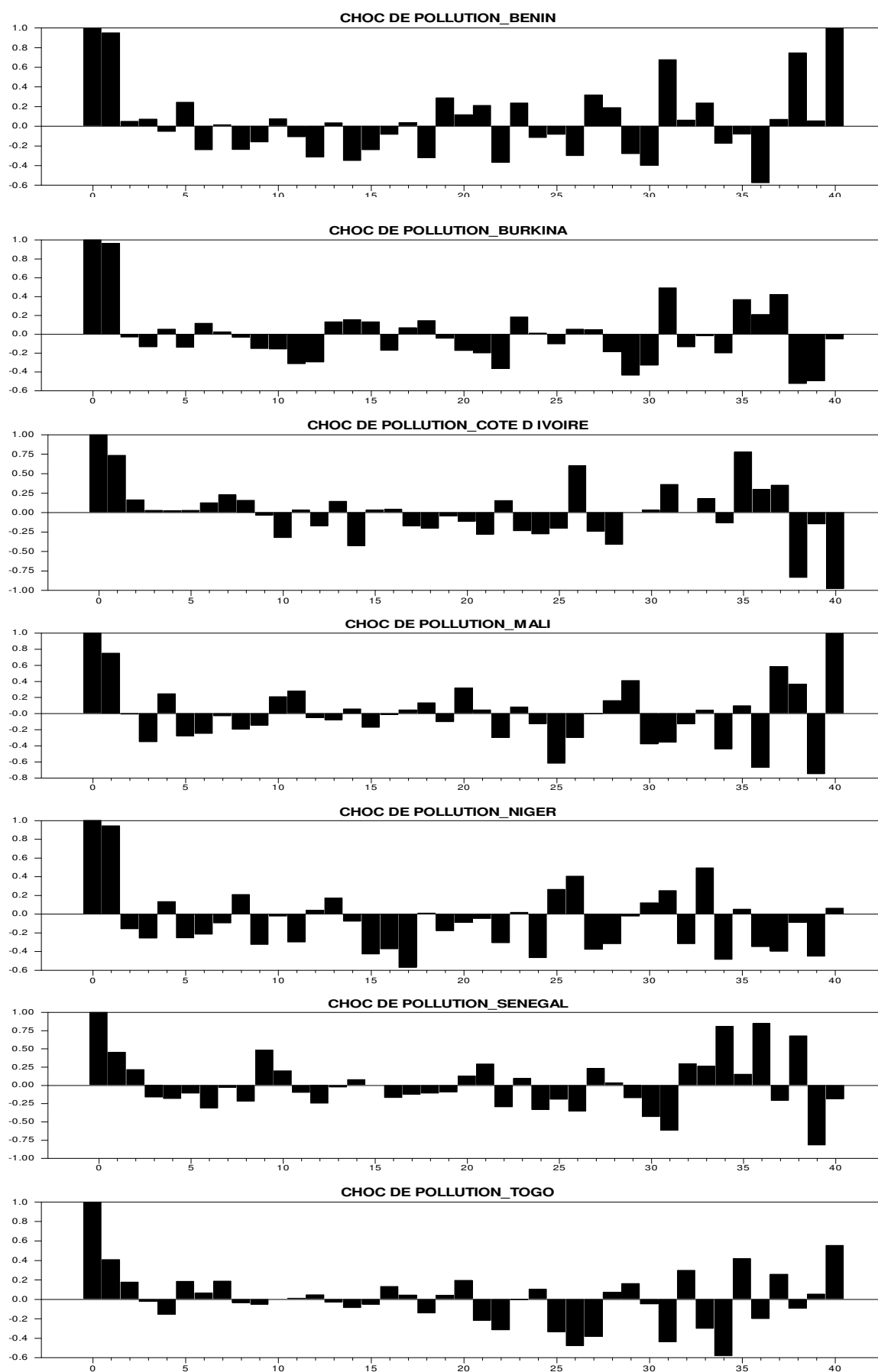
Graphique IV.1 : Chocs d'offre dans l'UEMOA



Graphique IV.2 : Chocs énergétiques



Graphique IV.3 : Chocs de pollution



Les graphiques IV.1, IV.2 et IV.3, qui présentent respectivement les chocs d'offre, les chocs énergétiques et les chocs de pollution dans l'UEMOA, donnent une première idée du niveau de symétrie de ces chocs. Rappelons que mesurer la symétrie des chocs entre des pays revient à vérifier que les pays ressentent les chocs de façon synchrone et dans les mêmes proportions et réagissent de la même manière. Les graphiques ci-avant répondent en partie à cette préoccupation. Nous pouvons noter que sur la période 1970-2010, les pays ressentent les chocs, relativement de la même manière qu'au début des années 1970. A partir de 1972 généralement, les déviations des variables du PIB, de l'énergie et du CO₂, de leur tendance sont nettement différentes d'un pays à l'autre comme le montrent les graphiques. Nous déduisons de l'analyse graphique que les chocs d'offre, les chocs énergétiques et de pollution sont asymétriques dans l'UEMOA. Ce résultat est conforme aux précédents qui concluent à l'hétérogénéité des pays de l'Union. La section suivante fait une mesure statistique de la symétrie des chocs.

III – CORRELATION DES CHOCS DANS L'UEMOA

Après avoir calculé et représenté les chocs d'offre, les chocs énergétiques et les chocs de pollution dans la zone UEMOA, nous analysons ici la corrélation de ces chocs, pour approfondir l'analyse de la symétrie. Toutefois, nous examinons d'abord la corrélation des séries du PIB par tête entre pays, de même que celles de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂.

III – 1 - Corrélation des séries du PIB par tête, de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂

Des corrélations bilatérales positives et significatives indiqueraient que les cycles des pays bougent de façon synchronisée et qu'il y a une forme de symétrie. Les tableaux ci-dessous donnent les corrélations bilatérales pour tous les pays et toutes les variables.

Tableau IV.1 : Corrélation des séries du PIB par tête entre les pays de l'UEMOA

	Bénin	Burkina Faso	Côte d'Ivoire	Mali	Niger	Sénégal	Togo
Bénin	1, 00						
Burkina Faso	0, 83** (0.00)	1, 00					
Côte d'Ivoire	-0, 79** (0.00)	-0, 83** (0.00)	1, 00				
Mali	0, 69** (0.00)	0, 70** (0.00)	-0, 61** (0.00)	1, 00			
Niger	-0, 66** (0.00)	-0, 83** (0.00)	0, 77** (0.00)	0, 38** (0.01)	1, 00		
Sénégal	0, 17 (0.00)	-0, 02 (0.88)	-0, 10 (0.52)	0, 49** (0.00)	0, 31* (0.04)	1, 00	
Togo	-0, 59** (0.00)	-0, 70** (0.00)	0, 88** (0.00)	-0, 42** (0.00)	0, 77** (0.00)	0, 08 (0.58)	1, 00

*Notes : (**) et (*) indiquent la significativité au seuil de 1% et 5% respectivement*

Lorsque le coefficient de corrélation est calculé, pour son interprétation l'on se reporte aux intervalles suivants (en valeur absolue) : [0 ; 0.35] correspond à une faible corrélation ; [0.36 ; 0.67] correspond à une corrélation modérée ; [0.68 ; 0.89] indique une forte corrélation et [0.90 ; 1] indique une très forte corrélation. Le tableau IV.1 indique que les séries du PIB par tête des pays de la zone UEMOA sont en majorité corrélées. Le Sénégal fait l'exception avec deux coefficients de corrélation positivement significatifs au seuil de 1% et 5% avec respectivement le Mali, une corrélation modérée (0,49) et le Niger, une corrélation faible (0,31). Le PIB par tête du Bénin a une forte corrélation positive avec le Burkina Faso (0.83) et le Mali (0.69) mais négative avec la Côte d'Ivoire et négativement modérée avec le Niger (-0.66) et le Togo (-0.59). Le PIB par tête du Burkina Faso est fortement et négativement corrélé avec ceux des autres pays sauf avec le Mali où la corrélation est significativement positive (0.70). La Côte d'Ivoire a son PIB par tête significativement et fortement corrélé avec celui des autres pays sauf avec le Sénégal, mais le signe des coefficients n'est pas le même. Le Mali et le Niger ont tous les deux leur PIB par tête significativement corrélés avec celui de chaque pays de l'UEMOA. Il ressort que les séries du PIB par tête des pays de l'UEMOA sont fortement corrélées mais le sens de la corrélation n'est pas uniforme. Ce qui indique une faible synchronisation des cycles du PIB dans l'Union.

Tableau IV.2 : Corrélation des séries de la consommation d'énergie par habitant entre les pays de l'UEMOA

	Bénin	Burkina Faso	Côte d'Ivoire	Mali	Niger	Sénégal	Togo
Bénin	1, 00						
Burkina Faso	0, 71** (0.00)	1, 00					
Côte d'Ivoire	-0, 15 (0.32)	-0, 21 (0.17)	1, 00				
Mali	0, 45** (0.0)	0, 59** (0.00)	0, 01 (0.98)	1, 00			
Niger	0, 27 (0.09)	0, 11 (0.48)	0, 36* (0.05)	0, 25 (0.10)	1, 00		
Sénégal	0, 79** (0.00)	0, 50** (0.00)	0, 09 (0.56)	0, 12 (0.43)	0, 21 (0.17)	1, 00	
Togo	0, 13 (0.31)	-0, 01 (0.95)	0, 38** (0.01)	-0, 18 (0.24)	0, 43** (0.00)	0, 14 (0.36)	1, 00

Notes : (**) et (*) indiquent la significativité au seuil de 1% et 5% respectivement

Au niveau de la consommation d'énergie, seul le Bénin affiche deux fortes corrélations significativement positives avec le Burkina Faso (0.71) et le Sénégal (0.79) et aussi deux corrélations modérées et positives avec le Mali (0.45). La consommation d'énergie du Burkina Faso, au-delà de celle du Bénin, est de façon modérée positivement corrélée avec celles du Mali (0.59) et du Sénégal (0.50). Il en est de même pour le Togo avec la Côte d'Ivoire (0.38) et le Niger (0.43). Il ressort que, dans le cas des séries de la consommation d'énergie, peu de coefficients de corrélation sont significatifs, mais ils sont presque tous positifs. Il y a une synchronisation des cycles de l'énergie entre le Bénin, le Burkina Faso et le Sénégal, d'une part et entre la Côte d'Ivoire, le Niger et le Togo, d'autre part.

Tableau IV.3 : Corrélation des séries des émissions de CO₂ entre les pays de l'UEMOA

	Bénin	Burkina Faso	Côte d'Ivoire	Mali	Niger	Sénégal	Togo
Bénin	1, 00						
Burkina Faso	0, 76** (0.00)	1, 00					
Côte d'Ivoire	-0, 75** (0.0)	-0, 54** (0.00)	1, 00				
Mali	-0, 51** (0.0)	-0, 17 (0.27)	0, 49** (0.00)	1, 00			
Niger	-0, 31* (0.04)	0, 18 (0.24)	0, 43** (0.00)	0, 50** (0.00)	1, 00		
Sénégal	-0,001 (0.99)	0, 27 (0.07)	0, 13 (0.41)	0, 53** (0.00)	0, 31* (0.04)	1, 00	
Togo	0, 34* (0.02)	0, 57** (0.00)	-0, 20 (0.20)	0, 10 (0.50)	0, 12 (0.41)	0, 32* (0.03)	1, 00

Notes : (**) et (*) indiquent la significativité au seuil de 1% et 5% respectivement

Selon le tableau IV.3 les émissions de CO₂ du Bénin sont fortement et significativement corrélées avec celles du Burkina Faso (0.76), de la Côte d'Ivoire (-0.75), de façon modérée avec celles du Mali (-0.51) et faiblement avec les émissions de CO₂ du Niger (0.31) et du Togo (0.34). Celles du Burkina Faso le sont de façon significativement négatives avec celles de la Côte d'Ivoire (-0.54) et positives avec celles du Togo (0.57). D'autres coefficients de corrélation significativement positifs existent entre la Côte d'Ivoire et le Mali (0.49), la Côte d'Ivoire et le Niger (0.43) d'une part mais aussi entre le Mali et le Niger (0.50), le Mali et le Sénégal (0.53), le Niger et le Sénégal (0.31) et enfin le Sénégal et le Togo (0.32) d'autre part. La synchronisation des cycles d'émissions de CO₂ dans l'UEMOA n'est pas établie.

Dans cette partie nous avons étudié la corrélation des séries du PIB par tête, de la consommation d'énergie par habitant et des émissions de CO₂ par habitant. Les résultats montrent que la synchronisation n'est pas nette dans l'Union. Nous pouvons affirmer que dans l'ensemble, même si quelques coefficients de corrélation bilatérale sont significativement positifs, au niveau sous-régional nous ne pouvons pas identifier une situation globale de fluctuation cyclique synchronisée.

III – 2 - Corrélation des chocs de production, chocs énergétiques et chocs de pollution

Nous avons plus haut calculé et représenté les chocs, nous pouvons calculer leurs coefficients de corrélation bilatérale entre les pays. En effet, ils constituent une mesure statistique de la symétrie qui est complémentaire à l'interprétation graphique. Nous estimons dans ce qui suit les corrélations de chocs entre les pays pour chaque type de chocs.

Tableau IV.4 : Corrélation des chocs d'offre entre les pays de l'UEMOA

	Bénin	Burkina Faso	Côte d'Ivoire	Mali	Niger	Sénégal	Togo
Bénin	1, 00						
Burkina Faso	-0, 05 (0.76)	1, 00					
Côte d'Ivoire	-0, 11 (0.50)	0, 20 (0.23)	1, 00				
Mali	-0, 25 (0.11)	0, 05 (0.74)	-0, 07 (0.65)	1, 00			
Niger	0, 14 (0.39)	0, 03 (0.81)	0, 09 (0.56)	-0, 04 (0.79)	1, 00		
Sénégal	-0,15 (0.37)	-0, 01 (0.94)	0, 15 (0.36)	0, 02 (0.89)	-0, 01 (0.98)	1, 00	
Togo	0, 03 (0.85)	0, 05 (0.76)	-0, 20 (0.22)	-0, 01 (0.94)	0, 03 (0.83)	-0, 14 (0.39)	1, 00

Tableau IV.5 : Corrélation des chocs énergétiques entre les pays de l'UEMOA

	Bénin	Burkina Faso	Côte d'Ivoire	Mali	Niger	Sénégal	Togo
Bénin	1, 00						
Burkina Faso	-0, 02 (0.85)	1, 00					
Côte d'Ivoire	-0, 02 (0.87)	-0, 05 (0.74)	1, 00				
Mali	0, 05 (0.73)	0, 05 (0.58)	0, 01 (0.98)	1, 00			
Niger	0, 17 (0.29)	0, 29 (0.07)	-0, 01 (0.92)	0, 14 (0.40)	1, 00		
Sénégal	0,18 (0.25)	0, 02 (0.89)	0, 18 (0.25)	0, 29 (0.06)	0, 16 (0.33)	1, 00	
Togo	-0, 16 (0.32)	-0, 10 (0.52)	0, 07 (0.67)	-0, 07 (0.63)	0, 03 (0.83)	0, 09 (0.55)	1, 00

Tableau IV.6 : Corrélation des chocs de pollution entre les pays de l'UEMOA

	Bénin	Burkina Faso	Côte d'Ivoire	Mali	Niger	Sénégal	Togo
Bénin	1, 00						
Burkina Faso	-0, 02 (0.90)	1, 00					
Côte d'Ivoire	0, 24 (0.13)	0, 17 (0.30)	1, 00				
Mali	-0, 15 (0.36)	0, 17 (0.30)	-0, 06 (0.67)	1, 00			
Niger	-0, 17 (0.29)	0, 07 (0.67)	0, 14 (0.37)	0, 18 (0.25)	1, 00		
Sénégal	0, 25 (0.12)	0, 02 (0.89)	0, 09 (0.55)	0, 16 (0.33)	0, 14 (0.40)	1, 00	
Togo	-0, 14 (0.38)	0, 24 (0.13)	0, 01 (0.95)	0, 06 (0.71)	0, 01 (0.94)	-0, 11 (0.47)	1, 00

Il ressort de l'analyse des tableaux IV.4, IV.5 et IV.6 que les coefficients de corrélation des chocs d'offre, des chocs énergétiques et des chocs de pollution entre les pays de la zone UEMOA sont très faibles et statistiquement non significatifs. Ce qui permet d'en déduire que ces chocs sont asymétriques dans cette zone. Au terme de cette section nous obtenons une confirmation supplémentaire de l'hétérogénéité des pays de la zone UEMOA. Les pays de l'Union ne subissent pas les chocs de la même manière, ni de façon synchrone. Dans ce qui suit, nous estimons les réponses des variables aux différents chocs. L'objectif est de vérifier si les pays répondent de façon symétrique aux chocs.

IV – LES EFFETS DES CHOCS ENERGETIQUES ET DES CHOCS D'OFFRE

Dans la littérature empirique, l'analyse des effets des chocs sur des variables est faite par la méthodologie VAR ou SVAR, plus spécifiquement à travers les fonctions de réponse impulsionnelles. C'est la méthode utilisée par Romer and Romer (1994), Ramsey and Shapiro (1998), Faust (1998), Blanchard and Perotti (2002), Fatas and Mihov (2001a, b), Eichenbaum and Fisher (2003), Uhlig (2005), Mountford and Uhlig (2005, 2009) et

Caldara (2011), pour analyser les effets de politiques fiscales. Favero (2001) a présenté une large revue de littérature d'études ayant utilisés les fonctions de réponse impulsionnelles pour étudier les effets des chocs de politiques monétaires. Chacune de ces études a utilisé une méthode d'identification qui a posé soit restrictions de signes, soit des restrictions de court terme et / ou des restrictions de long terme comme nous l'avons fait plus haut. En revanche, la quasi-totalité de ces études se sont appuyées sur les fonctions de réponse impulsionnelles et la décomposition de la variance de l'erreur de prévision pour évaluer les effets des chocs.

En effet, les fonctions de réponse impulsionnelles montrent les effets des chocs sur les trajectoires d'ajustement des variables. La décomposition de la variance de l'erreur de prévision mesure la contribution de chaque type de choc à la variance de l'erreur de prévision. Tous ces calculs sont utiles pour évaluer la façon dont les chocs sur des variables se répercutent à travers un système, dans notre cas, le système énergie – PIB – CO₂.

IV – 1 – Les fonctions de réponse impulsionnelles

Les fonctions de réponse impulsionnelles pour les chocs structurels sont tracées et sont visibles dans les graphiques ci-après. Nous y trouvons les fonctions de réponse de chacune de nos trois variables, pour chaque pays de l'UEMOA, sur un horizon de huit années. Le lien de causalité entre les variables ne donne pas l'historique de l'interaction entre les variables du système. En revanche les fonctions de réponse impulsionnelles calculent et tracent les interactions entre les variables dans le temps. Par exemple dans notre système à trois variables - le PIB réel, la consommation d'énergie et les émissions de CO₂ par tête - les effets d'un accroissement de l'utilisation de l'énergie ou d'une variation positive du PIB réel sur chacune des variables du système peuvent être d'un grand intérêt dans un contexte de réchauffement climatique inquiétant et de rareté énergétique, qui induisent de la pollution et du développement surtout dans les pays du sud.

Soit pour chaque pays le système suivant :

$$Y_t = \begin{pmatrix} PIB_t \\ En_t \\ CO2_t \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} PIB \text{ réel} \\ \text{énergie} \\ \text{Pollution} \end{matrix}$$

Pour isoler l'effet d'un quelconque choc, nous supposons que chacune des variables, a priori, a sa moyenne à la date $t = 0$ et nous admettons par conséquent que :

$$Y_t = \mu, \forall t < 0$$

Supposons ensuite que l'énergie s'écarte de sa moyenne μ à partir de la date $t = 0$, c'est-à-dire que le terme d'erreurs dans l'équation de l'énergie à cette date devient $\varepsilon_{p0} \neq 0$. Les fonctions de réponse impulsionnelles calculent et tracent ce qui se passe au niveau du système aux dates $t = 1, 2, 3 \dots$ si une autre déviation ne se produit pas.

Supposons que :

$$Y_t = \phi_1 Y_{t-1} + \varepsilon_t \quad (7)$$

Sous forme matricielle l'équation (7) s'écrit :

$$Y_t = \begin{pmatrix} PIB_t \\ En_t \\ CO2_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \phi_{11} & \phi_{12} & \phi_{13} \\ \phi_{21} & \phi_{22} & \phi_{23} \\ \phi_{31} & \phi_{32} & \phi_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} PIB_{t-1} \\ En_{t-1} \\ CO2_{t-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_{PIB,t} \\ \varepsilon_{En,t} \\ \varepsilon_{CO2,t} \end{pmatrix}$$

Supposons un choc énergétique à la date $t = 0$, ceci permet d'écrire :

$$Y_0 = \begin{pmatrix} PIB_0 \\ En_0 \\ CO2_0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varepsilon_{PIB,0} \\ \varepsilon_{En,0} \\ \varepsilon_{CO2,0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

A la date $t = 1$, l'on a :

$$Y_1 = \begin{pmatrix} PIB_1 \\ En_1 \\ CO2_1 \end{pmatrix} = \phi_1 Y_0 = \begin{pmatrix} \varepsilon_{PIB,1} \\ \varepsilon_{En,1} \\ \varepsilon_{CO2,1} \end{pmatrix}$$

A la date $t = i$, l'on a :

$$Y_i = \begin{pmatrix} PIB_i \\ En_i \\ CO2_i \end{pmatrix} = \phi_1^i Y_0 = \begin{pmatrix} \varepsilon_{PIB,i} \\ \varepsilon_{En,i} \\ \varepsilon_{CO2,i} \end{pmatrix}$$

Les éléments de la matrice ϕ_1^i donnent les effets d'un choc sur les variables du système après n périodes, ce sont les réponses impulsionnelles. Si nous posons que $\phi_1^i = \theta_i$, le i^e coefficient de la matrice ϕ dans la représentation moyenne mobile du vecteur autorégressif, la fonction de réponse impulsionnelle peut s'écrire de la façon suivante :

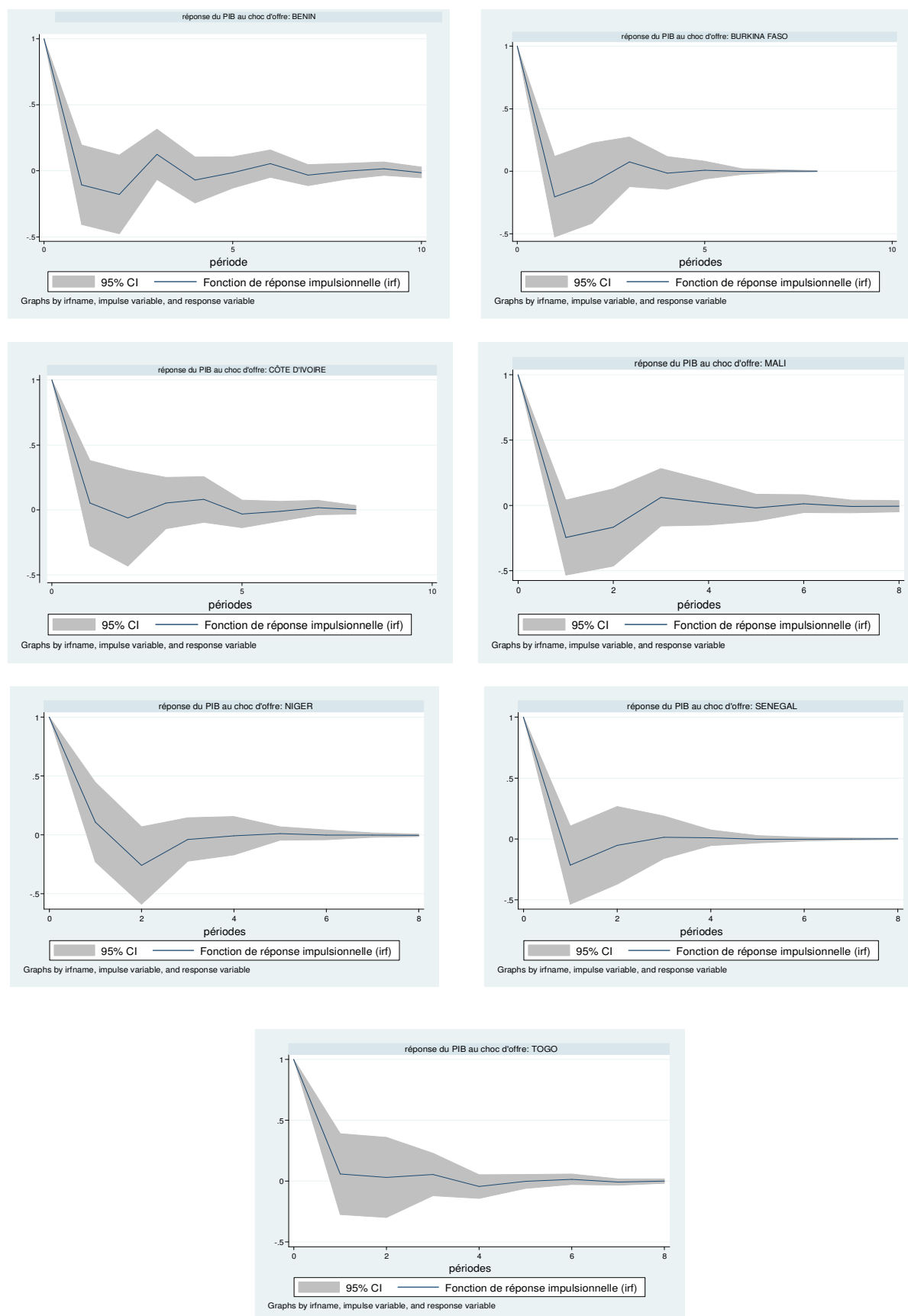
$$Y_{t+n} = \sum_{i=0}^{\infty} \theta_i \varepsilon_{t+n,i} \quad (8)$$

avec t le temps, n le nombre de périodes après le choc et i la variable de réaction du système. La réponse de la variable i du vecteur Y_t à la période n à un choc de la variable j qui a eu lieu à la date t peut s'exprimer comme il suit :

$$\{\theta_n\}_{ij} = \partial y_{it+n} / \partial \varepsilon_{jt}$$

Les réponses de chaque variable à un choc d'offre et à un choc énergétique donnent donc dans les graphiques, une vision de la dynamique de l'interrelation dans le système. Nous représentons dans ces graphiques les réponses de chaque variable à un choc d'un écart type de 1%. Nous analysons ici les réponses de chacune des variables à un choc de production ou d'offre et à un choc énergétique. Les réponses aux différents chocs sont présentées en indiquant les bornes à 95 %. Nous avons essentiellement posé des contraintes de neutralité à long terme.

Graphique IV.4 : Réponses du PIB aux chocs d'offre dans l'UEMOA

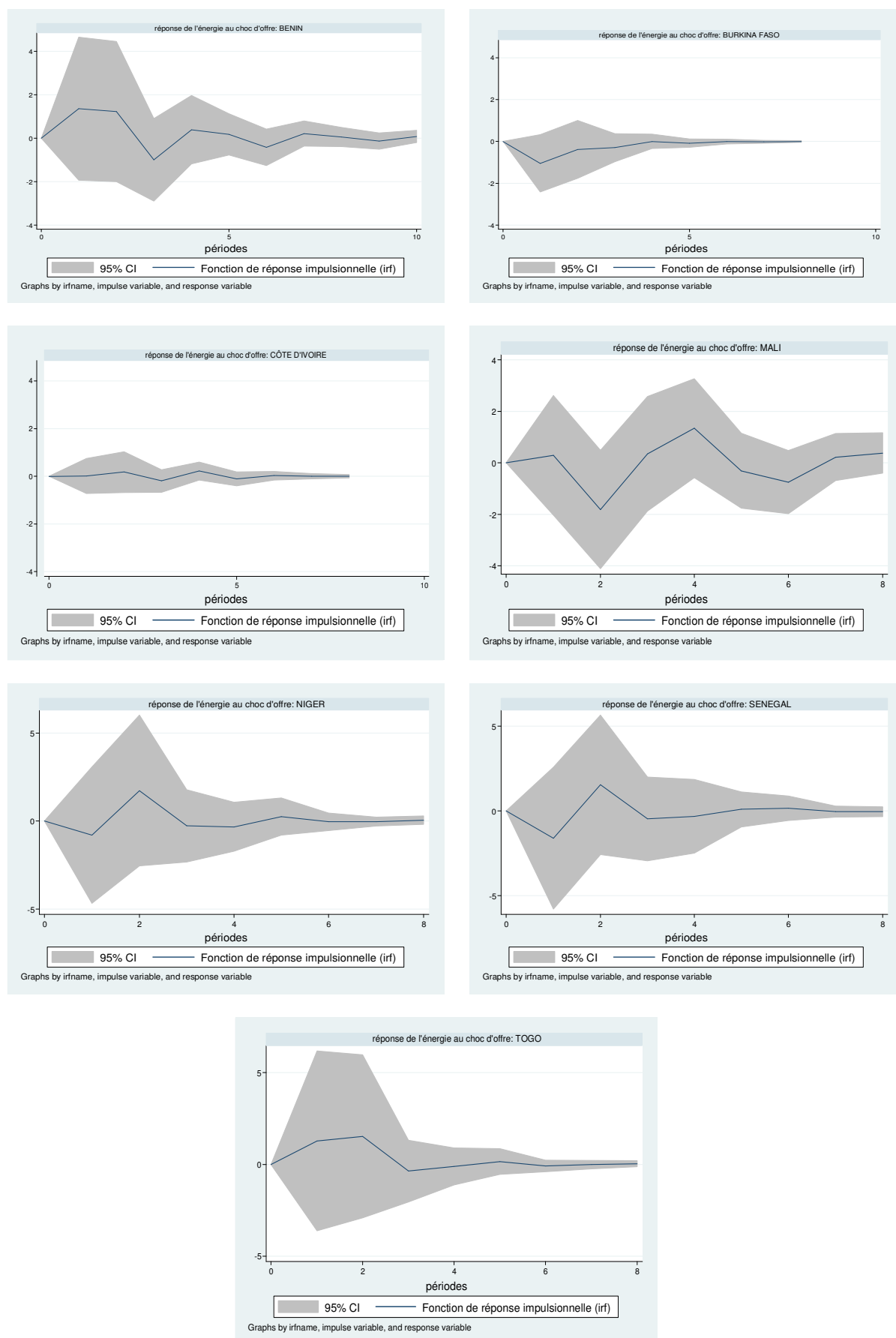


IV – 1 – 1 – Les effets d'un choc d'innovation sur le PIB

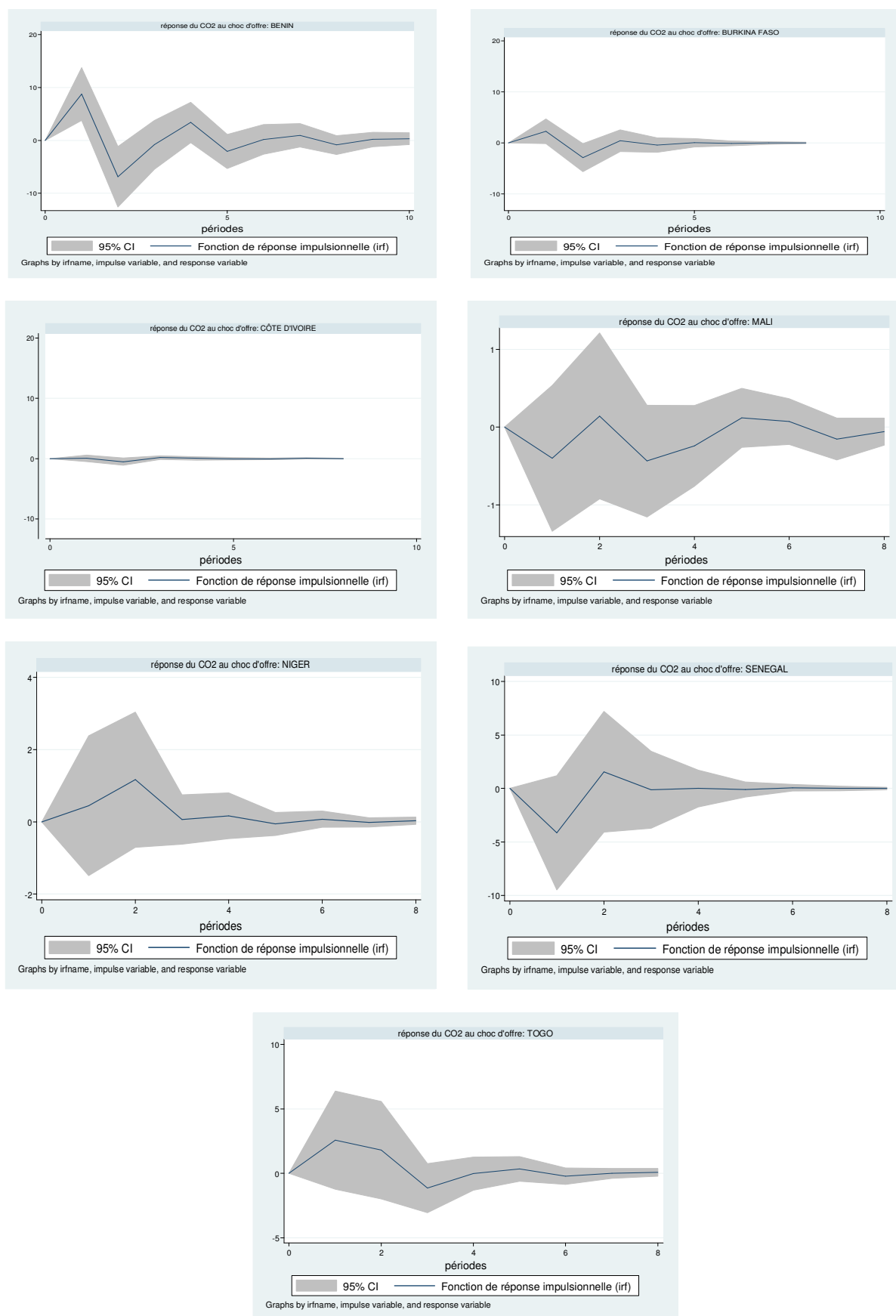
Dans le graphique IV.4, nous avons reporté les réponses du PIB, de l'énergie et du CO₂ à un choc d'offre d'un écart type de 1% dans chaque pays de l'UEMOA. Nous observons qu'un choc d'offre provoque une contraction immédiate de l'activité dans tous les pays de l'UEMOA. Ce qui est un résultat attendu, les pays de l'Union ont des structures de production plutôt similaires. C'est aussi le résultat sans doute du processus d'unification entamé depuis le début des années 1960 surtout dans le secteur de l'activité. Nous constatons, en revanche, quelques éléments de divergence. En effet, les effets du choc d'offre deviennent positifs après la première période au Burkina Faso, au Mali et au Sénégal, alors qu'ils ne le deviennent qu'à partir de la période 2 au Bénin, en Côte d'Ivoire et au Niger. Nous notons que les effets du choc se dissipent dès la période 3 au Burkina Faso, au Mali, au Niger et au Sénégal. La dissipation des effets se produit un an après le choc au Togo, mais un peu plus tard au Bénin et en Côte d'Ivoire, environ 6 périodes. Il convient de souligner également que l'ampleur des réactions n'est pas identique pour tous les pays.

Les réponses de l'énergie à un choc d'innovation sur la variable PIB par tête dans les pays de l'UEMOA sont présentées dans le graphique IV.5 ci-après. Nous observons ici que les allures des fonctions de réponse ne sont pas systématiquement identiques pour tous les pays. Un choc d'offre provoque un accroissement immédiat de l'utilisation de l'énergie au Bénin, au Mali et au Togo, les amplitudes de réaction sont toutefois différentes. Les effets dans ces pays ne se dissipent qu'au delà de cinq périodes après des oscillations régulières. Les réponses immédiates de l'énergie à un choc d'offre au Burkina Faso, au Niger, au Mali et au Sénégal se traduisent par une contraction de son utilisation. Les effets se dissipent après quatre périodes. Nous notons que les amplitudes de réaction sont diversifiées. Seuls le Niger et le Sénégal ont des réponses de l'énergie au choc d'offre quasiment identique.

Graphique IV.5 : Réponses de l'énergie aux chocs d'offre dans l'UEMOA



Graphique IV.6 : Réponses du CO₂ aux chocs d'offre dans l'UEMOA

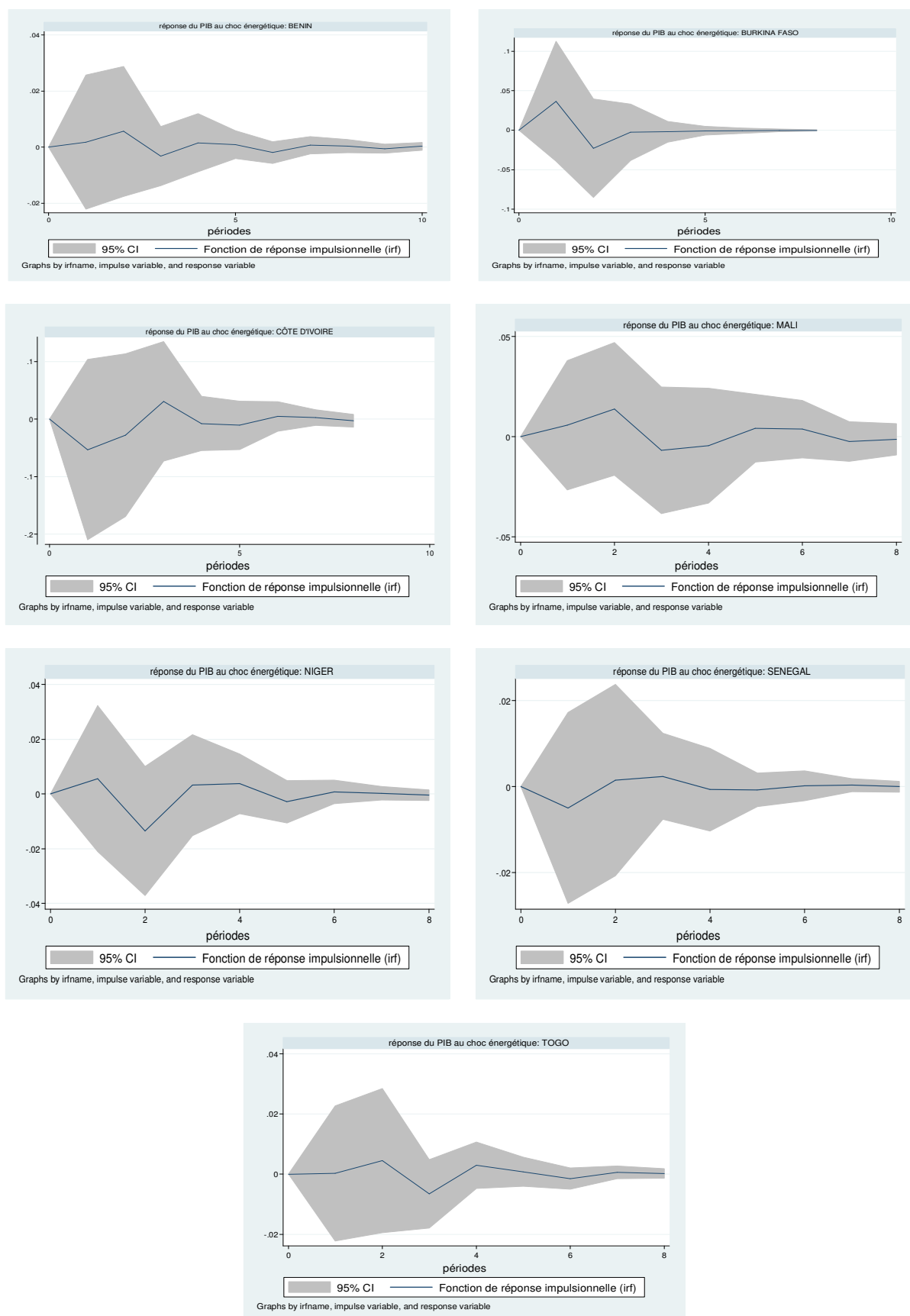


Les allures des fonctions de réponse, qui tracent les réactions du CO₂ aux chocs d'innovations sur le PIB par tête demeurent diversifiées dans la zone UEMOA, sauf pour le Bénin et le Burkina Faso. Ces deux pays présentent toutefois des ampleurs de réaction différentes, le Bénin réagit deux fois plus fortement et les effets y sont plus persistants que le Burkina Faso. La Côte d'Ivoire se distingue aussi par une réponse quasi nulle. Les réponses du CO₂ au choc d'offre sont à relativiser en raison de l'importance de l'intervalle de confiance. Toutefois, nous pouvons noter la diversité des réactions.

En résumé, il apparaît que face à un choc d'innovation sur le PIB par tête dans la zone UEMOA les pays réagissent de façon plutôt hétérogène. Les allures des fonctions de réponse du PIB demeurent identiques, mais les ampleurs et la persistance des réactions sont diversifiées. Du côté de l'énergie et du CO₂, les allures des fonctions de réponse sont plus diversifiées de même que les forces de réaction. La Côte d'Ivoire paraît mieux résister aux chocs d'offre, les réactions de l'énergie et du CO₂ y sont plus faibles.

Nous regardons dans la suite les allures des réactions des variables PIB par tête, consommation d'énergie par tête et émissions de CO₂ par tête lorsqu'un choc énergétique se produit.

Graphique IV.7 : Réponses du PIB aux chocs énergétiques dans l'UEMOA



IV – 1 – 2 – Les effets d'un choc d'innovation sur le PIB

Les graphiques IV.7 ci-avant, IV.8 et IV.9 ci-après représentent les réponses du PIB, de l'énergie et du CO₂ respectivement à un choc énergétique. Du côté du PIB, nous distinguons deux groupes de pays. Le premier groupe est constitué des pays qui montrent une contraction immédiate du PIB par tête, il s'agit de la Côte d'Ivoire et du Sénégal. Le choc énergétique ici qui se traduit par un accroissement de la consommation d'énergie présente un effet négatif sur le PIB réel. Ces deux pays sont autosuffisants en énergie et exportateurs nets, ce qui peut justifier ce résultat. Les autres pays réagissent différemment et de façon diversifiée en ce qui concerne l'ampleur de réaction.

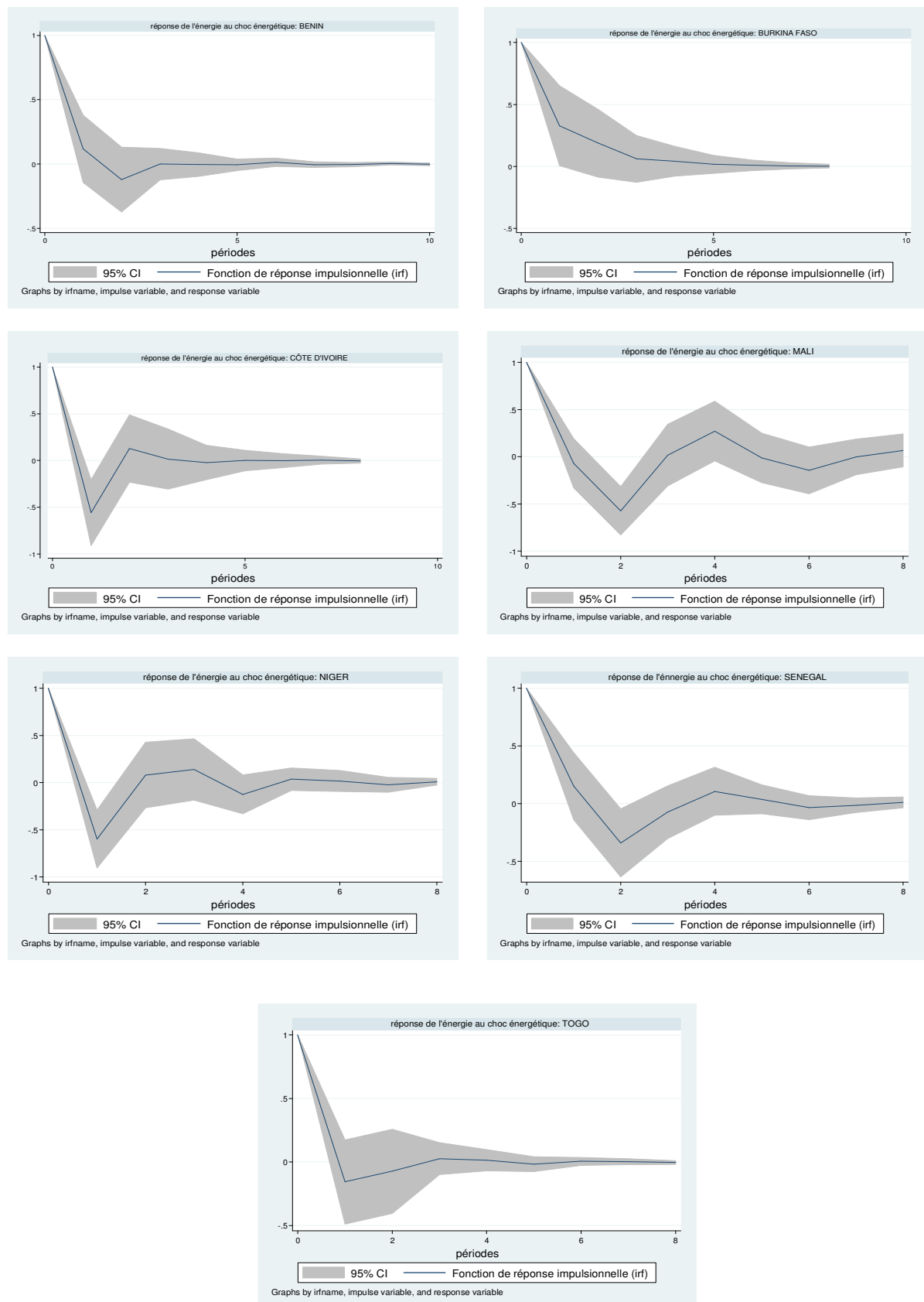
Les allures des réponses de l'énergie sont plutôt uniformes. Comme dans le cas du PIB, les amplitudes de réaction sont différentes.

Du côté du CO₂, un choc énergétique provoque une augmentation immédiate des émissions de CO₂ dans les pays de l'UEMOA sauf au Bénin et en Côte d'Ivoire. La réponse du CO₂ est faible et n'est pas immédiate contrairement à celle du Bénin qui est négative. Les degrés de réaction sont différents d'un pays à l'autre et les effets sont plus persistants au Bénin et au Mali. Nous retenons ici que les réponses du PIB, de l'énergie et du CO₂ à un choc énergétique dans l'UEMOA sont hétérogènes.

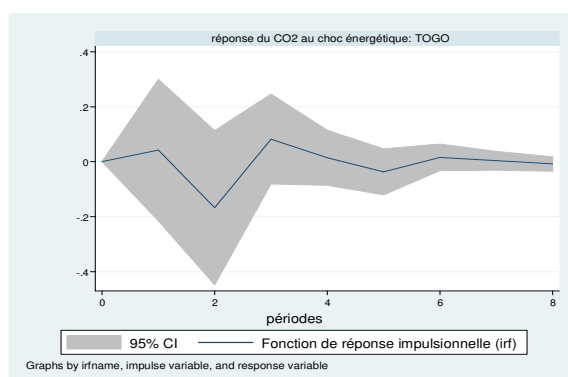
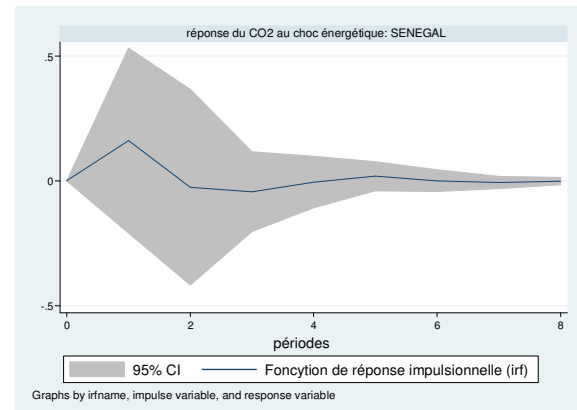
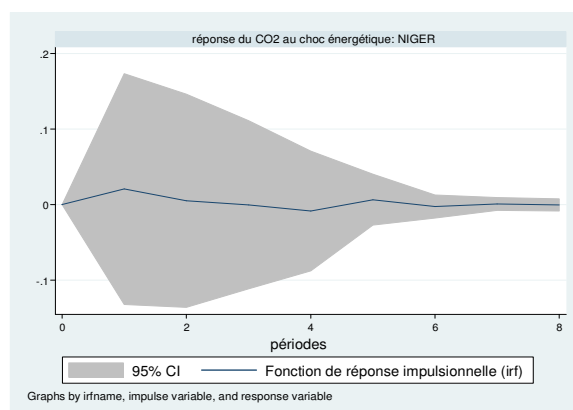
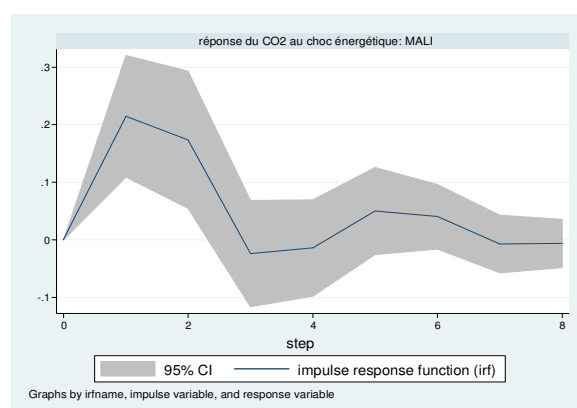
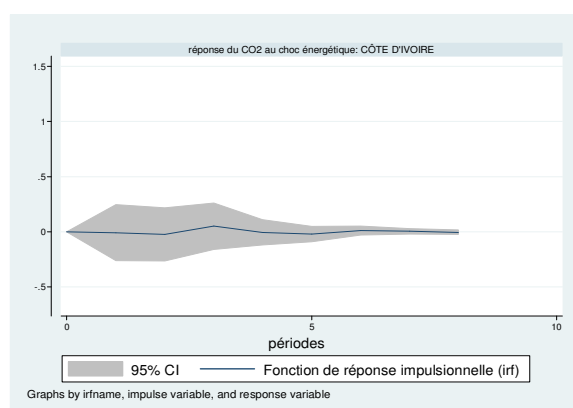
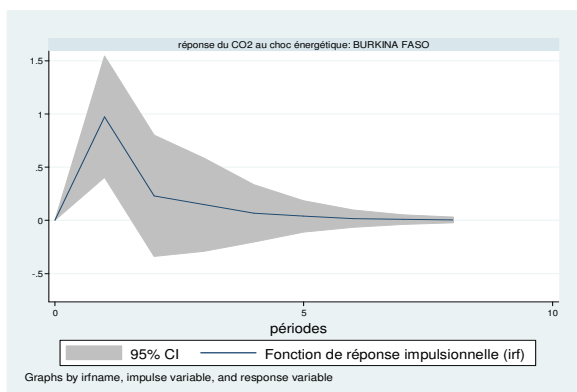
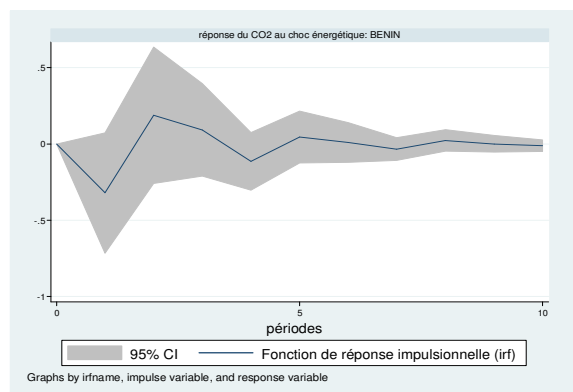
En définitive, il ressort du calcul et de la représentation des fonctions de réponse impulsionnelle du PIB, de l'énergie et du CO₂ émanant d'un choc d'offre et d'un choc énergétique que les pays de l'UEMOA ne sont pas homogènes. Les réactions sont très souvent opposées et/ou dans des proportions diverses.

Nous cherchons à approfondir notre analyse sur les réactions des pays face aux chocs en examinant dans la suite les sources des fluctuations du PIB, de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ pour chaque pays de l'Union.

Graphique IV.8 : Réponses de l'énergie aux chocs énergétiques dans l'UEMOA



Graphique IV.9 : Réponses du CO₂ aux chocs énergétiques dans l'UEMOA



IV – 2 – La décomposition de la variance de l'erreur de prévision

La décomposition de la variance de l'erreur de prévision permet de déterminer les sources les plus importantes de fluctuations des variables endogènes pour la période d'étude. En particulier, elle permet de mesurer la part de la variance anticipée de chaque variable endogène à différents horizons, expliquée par les différents chocs (Drine et Rault, 2009). Les résultats de la contribution des différents chocs aux variations des variables d'étude sur un horizon de huit ans sont présentés dans les tableaux suivants.

Tableau IV.7 : Décomposition de la variance de l'erreur de prévision du Bénin (%)

	PIB			ENERGIE			CO ₂		
H	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p
1	100	0	0	2	98	0	4	7	89
2	98	2	0	2	98	0	14	9	77
3	98	2	0	2	98	0	15	9	76
4	98	2	0	2	98	0	15	9	76
5	98	2	0	2	98	0	15	9	76
6	98	2	0	2	98	0	15	9	76
7	98	2	0	2	98	0	15	9	76
8	98	2	0	2	98	0	15	9	76

Notes : ε_t^y , ε_t^e et ε_t^p désignent respectivement les chocs d'offre, énergétique et de pollution.

Tableau IV.8 : Décomposition de la variance de l'erreur de prévision du Burkina Faso (%)

	PIB			ENERGIE			CO ₂		
H	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p
1	100	0	0	2	98	0	2	4	94
2	95	4	1	3	95	2	10	22	68
3	94	5	1	3	95	2	12	22	66
4	94	5	1	3	95	2	13	22	65
5	94	5	1	3	95	2	13	22	65
6	94	5	1	3	95	2	13	22	65
7	94	5	1	3	95	2	13	22	65
8	94	5	1	3	95	2	13	22	65

Notes : ε_t^y , ε_t^e et ε_t^p désignent respectivement les chocs d'offre, énergétique et de pollution.

Tableau IV.9 : Décomposition de la variance de l'erreur de prévision de la Côte d'Ivoire (%)

	PIB			ENERGIE			CO ₂		
H	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p
1	100	0	0	10	90	0	16	14	70
2	97	2	1	9	89	2	16	13	71
3	97	2	1	9	88	3	16	13	71
4	97	2	1	9	88	3	16	13	71
5	97	2	1	9	88	3	16	13	71
6	97	2	1	9	88	3	16	13	71
7	97	2	1	9	88	3	16	13	71
8	97	2	1	9	88	3	16	13	71

Notes : ε_t^y , ε_t^e et ε_t^p désignent respectivement les chocs d'offre, énergétique et de pollution.

Tableau IV.10 : Décomposition de la variance de l'erreur de prévision du Mali (%)

	PIB			ENERGIE			CO ₂		
H	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p
1	100	0	0	1	99	0	18	16	66
2	99	1	0	4	94	2	25	18	58
3	99	1	0	5	94	1	26	20	54
4	99	1	0	5	94	1	27	20	53
5	99	1	0	5	94	1	27	20	53
6	99	1	0	5	94	1	27	20	53
7	99	1	0	5	94	1	27	20	53
8	99	1	0	5	94	1	27	20	53

Notes : ε_t^y , ε_t^e et ε_t^p désignent respectivement les chocs d'offre, énergétique et de pollution.

Tableau IV.11 : Décomposition de la variance de l'erreur de prévision du Niger (%)

	PIB			ENERGIE			CO ₂		
H	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p
1	100	0	0	1	99	0	12	14	74
2	98	2	0	2	98	0	15	13	72
3	98	2	0	2	98	0	15	13	72
4	98	2	0	2	98	0	15	13	72
5	98	2	0	2	98	0	15	13	72
6	98	2	0	2	98	0	15	13	72
7	98	2	0	2	98	0	15	13	72
8	98	2	0	2	98	0	15	13	72

Notes : ε_t^y , ε_t^e et ε_t^p désignent respectivement les chocs d'offre, énergétique et de pollution.

Tableau IV.12 : Décomposition de la variance de l'erreur de prévision du Sénégal (%)

H	PIB			ENERGIE			CO ₂		
	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p
1	100	0	0	1	99	0	17	1	82
2	99	1	0	5	95	0	19	2	79
3	98	2	0	5	95	0	20	3	76
4	98	2	0	5	95	0	20	3	76
5	98	2	0	5	95	0	20	3	76
6	98	2	0	5	95	0	20	3	76
7	98	2	0	5	95	0	20	3	76
8	98	2	0	5	95	0	20	3	76

Notes : ε_t^y , ε_t^e et ε_t^p désignent respectivement les chocs d'offre, énergétique et de pollution.

Tableau IV.13 : Décomposition de la variance de l'erreur de prévision du Togo (%)

H	PIB			ENERGIE			CO ₂		
	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p	ε_t^y	ε_t^e	ε_t^p
1	100	0	0	10	90	0	10	70	20
2	81	19	0	10	90	0	12	65	23
3	80	20	0	10	90	0	14	63	23
4	80	20	0	10	90	0	17	58	25
5	80	20	0	10	90	0	17	58	25
6	80	20	0	10	90	0	17	58	25
7	80	20	0	10	90	0	17	58	25
8	80	20	0	10	90	0	17	58	25

Notes : ε_t^y , ε_t^e et ε_t^p désignent respectivement les chocs d'offre, énergétique et de pollution.

Il apparaît à l'analyse de la décomposition de la variance de l'erreur de prévision dans l'UEMOA que :

- Le principal déterminant des fluctuations du PIB réel est l'innovation dans le processus de production. Les innovations dans le secteur de l'énergie déterminent en grande partie la dynamique de la consommation d'énergie. Les chocs de pollution sont en grande partie ceux qui expliquent les variations des émissions de CO₂, sauf au Togo où ce sont les chocs énergétiques qui dominent.

- Les chocs de pollution n'ont pas d'effets sur la dynamique du PIB par tête et de la consommation d'énergie dans les pays de l'UEMOA. Ce résultat est en conformité avec les résultats de la détermination des liens de causalité entre les variables PIB, énergie et CO₂.

- Les chocs d'offre, les chocs énergétiques et les innovations dans le secteur de l'environnement expliquent de façon instantanée les variations de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂. Seuls les chocs d'offre ont un impact instantané sur la dynamique du PIB.

- Les chocs d'offre et les chocs énergétiques apparaissent très déterminants dans la dynamique des émissions de CO₂.

En conclusion à cette partie, les pays de l'UEMOA sont plutôt proches en ce qui concerne les sources des fluctuations du PIB par tête et de la consommation d'énergie. En effet, les chocs d'innovation des émissions de CO₂ ne contribuent pas aux fluctuations de ces variables dans tous les pays. De façon générale, plus de 90% des variations du PIB et de la consommation d'énergie ont pour source les chocs d'innovation sur les variables elles même dans tous les pays quasiment. Du côté des émissions de CO₂, l'homogénéité des pays de l'Union est moins évidente.

V – CONCLUSION

Ce chapitre a examiné la symétrie des chocs énergétiques et des chocs d'offre dans l'UEMOA afin de mesurer le degré d'homogénéité des pays de l'Union. Pour atteindre notre objectif, nous avons mis en œuvre une méthodologie en plusieurs étapes. L'identification des chocs par la méthode VAR structurel en imposant des contraintes de long terme déduites des résultats de l'étude des relations de causalité, a précédé le calcul et la représentation graphique de ces chocs, puis le calcul des coefficients de corrélation des séries et des chocs. La dernière étape a consisté à calculer et à représenter les fonctions de réponse impulsionnelles et la décomposition de la variance des erreurs de prévision en vue de déterminer les effets des chocs de production, des chocs énergétiques sur les variables d'étude et les sources de leur fluctuation.

Il ressort que les chocs d'offre, les chocs énergétiques et de pollution dans les pays de l'UEMOA sont asymétriques. Par contre les cycles du PIB sont corrélés, mais très souvent de façon négative, de même que ceux de l'énergie et du CO₂ dans une moindre mesure. En revanche, les chocs entre pays sont quasiment non corrélés. Ceci a permis d'en déduire que dans l'UEMOA, les pays ne subissent pas les chocs de la même manière, ni de façon synchrone.

Les fonctions de réponse impulsionnelles ont permis de confirmer l'hypothèse d'asymétrie des chocs dans l'UEMOA. Toutefois certains pays de l'Union ont des réponses relativement proches dans la forme. En effet, les séries du PIB par tête, de la consommation d'énergie par tête et des émissions de CO₂ par tête ont des réponses aux chocs qui vont dans le même sens, mais avec des amplitudes de réaction différentes.

La décomposition de la variance de l'erreur de prévision a montré que les sources les plus importantes de fluctuations du PIB réel, de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂ sont proches d'une part pour le Togo et le Sénégal et d'autre part pour le Bénin, le Mali et le Niger.

En définitive, il apparaît qu'il y a une asymétrie des chocs d'offre, des chocs énergétiques et de pollution dans l'UEMOA, ce qui implique qu'une mise en œuvre de politiques énergétiques et environnementales communes ne serait pas adaptée. En effet les effets d'une politique commune dans le secteur énergétique et le secteur environnemental peuvent être opposés dans la zone. Elles pourraient produire les effets attendus de création de croissance et/ ou de réduction des émissions de CO₂ chez les uns, mais aussi les effets contraires chez les autres.

CONCLUSION DE LA PARTIE 2

Dans cette partie 2 nous avons tenu compte du caractère hétérogène des pays de l'UEMOA dans la relation entre le PIB et le CO₂ et procédé à une analyse pays par pays. La variable consommation d'énergie est utilisée ici comme variable de contrôle ou d'ajustement. L'énergie est en effet théoriquement reconnue comme un facteur de production et son utilisation est une source de pollution.

Dans le chapitre III, nous avons mesuré le sens et l'intensité du lien de causalité entre le PIB par tête, la consommation d'énergie et les émissions de CO₂. La méthodologie VECM nous a permis de calculer les vitesses d'ajustement et d'indiquer l'existence des relations de causalité de long terme, déterminées par les estimations DOLS et FMOLS. Il est apparu significativement que la croissance et la consommation d'énergie sont des sources de pollution dans tous les pays de l'UEMOA sauf au Burkina Faso. Entre l'énergie et le PIB, la relation de causalité est bilatérale au Bénin, en Côte d'Ivoire, au Mali et au Togo, on dit que l'hypothèse de rétroaction est vérifiée. En revanche, la relation de causalité est unilatérale, du PIB vers l'énergie au Burkina Faso, au Niger et au Sénégal, c'est l'hypothèse de conservation qui est vérifiée. Nous notons toutefois que les intensités d'influence varient d'un pays à l'autre.

Dans le chapitre IV, la symétrie des chocs d'offre, des chocs énergétiques et des chocs de pollution a été évaluée par le calcul des coefficients de corrélation et par la méthodologie VAR structurel à travers les fonctions de réponse impulsionnelles et la décomposition de la variance de l'erreur de prévision. Les résultats montrent que les chocs sont asymétriques dans l'Union. Les réponses du PIB par tête, de la consommation d'énergie par tête et des émissions de CO₂ aux chocs d'offre et aux chocs énergétiques sont différentes principalement en amplitude.

Les questions de l'utilisation des ressources naturelles, en particulier l'énergie, de la croissance économique et de la préservation de l'environnement sont des thèmes qui revêtent une importance capitale pour chaque nation, mais aussi pour toute la planète. Les pays en voie de développement doivent relever le défi de réaliser une croissance soutenue dans un contexte international assez contraint. C'est donc de façon légitime, que nous nous sommes posé la question de la quête de la croissance-développement avec une utilisation appropriée de l'énergie et la préservation de l'environnement dans la zone UEMOA. La réponse à cette question a été organisée en deux parties, autour de quatre chapitres avec des données annuelles sur le PIB par tête, de la consommation d'énergie par tête et des émissions de CO₂ par tête. La période d'étude s'étend de 1970 à 2010. Les pays concernés sont le Bénin, le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire, le Mali, le Niger, le Sénégal et le Togo.

Les pays sus-cités se sont organisés en Union en deux phases. Ils se sont d'abord constitués en une union monétaire (UMOA), dans les années 1960 avant de l'étendre à d'autres secteurs en 1994 (UEMOA). Depuis sa création, le 12 mai 1963, l'Union a connu une dynamique de croissance. Cette dernière s'est interrompue dans les années 1980. En effet, les seuls mécanismes monétaires n'ont pu résorber la crise due à la chute des prix des matières premières et à la perte de la compétitivité liée à l'ancrage de la monnaie unique de l'Union, le Francs CFA, au Francs Français, devenu fort. L'extension de l'Union à d'autres secteurs en 1994, a permis de retrouver le chemin de la croissance. En revanche, cette dynamique de croissance s'accompagne de la hausse de la consommation d'énergie et de l'accélération des émissions de gaz à effet de serre. Ce qui nous amène à en déduire que la croissance dans l'Union n'est pas une croissance « propre », en d'autres termes, une croissance économique sans contreparties négatives sur l'environnement. Ce constat est en conformité avec les prédictions de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE) qui prévoit que la croissance et la pollution mondiales futures viendraient essentiellement des pays

émergents et en voie de développement. Il apparaît nécessaire de rechercher les voies et moyens pour maîtriser la pollution essentiellement dans les pays en voie de développement. Cette thèse se situe dans ce contexte général. Elle a examiné principalement la relation PIB – CO₂ – énergie dans l’UEMOA. Pour Angeloni et al. (2003), connaître les mécanismes de transmission d’une politique permet aux décideurs de surveiller correctement l’état de l’économie, de prendre les décisions de politiques économiques adaptées et, d’expliquer au public l’intérêt de ces décisions.

La première partie de la thèse qui a porté sur l’analyse de la relation PIB – CO₂, est organisée en deux chapitres. Le premier, à travers l’analyse de l’hypothèse EKC (Courbe de Kuznets Environnementale), n’a pu permettre de déterminer clairement la relation entre le PIB et les émissions de CO₂ dans la zone UEMOA. En revanche, nous avons pu établir que l’UEMOA en général se situe sur la partie ascendante de la courbe de Kuznets environnementale. En d’autres termes, la relation entre le PIB et le CO₂ est définie linéaire et positive, plus de croissance s’accompagne de plus d’émissions de CO₂. Nous avons recherché cette relation dans un cadre plus général de croissance économique, la convergence.

Le chapitre II a porté d’une part, sur la convergence du revenu par tête et d’autre part, sur la convergence des émissions de CO₂. Nous avons analysé la convergence du revenu par tête dans la zone UEMOA sous ses deux formes définies dans la littérature, la sigma-convergence et la bêta-convergence. Rappelons que l’analyse de la convergence est fondée sur les propriétés clefs du modèle de croissance de Solow (1956). Nous avons pu montrer qu’il y a une dynamique de réduction de la dispersion des revenus par tête dans l’UEMOA entre 1970 et 2010 à travers la sigma-convergence. Cette dynamique a été perturbée par des chocs aléatoires d’origine économique, politique et même institutionnelle. La bêta-convergence mesure la vitesse de convergence. La bêta-convergence peut être absolue, on dit qu’il y a convergence entre pays. Elle peut être conditionnelle, chaque pays converge vers son propre sentier d’équilibre. Le test et la mesure de la vitesse de convergence dans l’UEMOA a été faite par la méthode du

maximum de vraisemblance avec prise en compte des effets spatiaux. La vitesse de convergence conditionnelle dans l'UEMOA s'est établit à 0.8% par an . La prise en compte des interactions entre les pays de l'Union (effets spatiaux) a contribué à accroître la vitesse de convergence qui se situe entre 1.80 et 2.60% par an, ce qui réduit de moitié environ le temps nécessaire pour atteindre l'équilibre. Les effets spatiaux ont donné un coup d'accélération à la vitesse de convergence. Ce résultat permet de déduire qu'il y a un rattrapage dans l'Union des niveaux de revenu par tête.

La convergence des émissions de CO₂ a été étudiée dans le cadre du Green Solow Model (GSM) de Brock & Taylor (2004, 2010). L'estimation est faite par la méthode des variables instrumentales et du maximum de vraisemblance. Rappelons que le GSM est inspiré du modèle de croissance de Solow lui-même fondé sur les hypothèses de rendements décroissants du capital et de progrès technologique dans la production, clefs de la convergence. Le Green Solow Model semble très bien expliquer l'évolution des émissions de CO₂ par tête dans l'UEMOA. D'un côté, le coefficient de convergence β significativement négatif lorsque la dépendance spatiale est ignorée, ce qui correspond à une vitesse de convergence conditionnelle égale à 1.36% par an. De l'autre côté, le coefficient de convergence β n'est pas significatif lorsque la dépendance spatiale est prise en compte. Ce qui a conduit à conclure qu'il n'y a pas de convergence des émissions de CO₂ par tête dans l'UEMOA. La dépendance spatiale constitue un facteur d'inhibition de la convergence du CO₂ dans l'UEMOA. Il n'y a pas de rattrapage des émissions de CO₂ dans l'Union.

Le GSM fournit une explication théorique de la relation empirique entre le niveau du revenu et la qualité de l'environnement dont une forme particulière est l'EKC. Ainsi l'on peut déduire que l'absence de convergence des émissions de CO₂ pourrait justifier le fait que l'EKC ne soit pas vérifiée dans l'Union. Nous pouvons déduire de cette première partie que la zone UEMOA est caractérisée par une relative hétérogénéité.

La deuxième partie de la thèse recherche une stratégie adaptée à l'UEMOA pour concilier croissance économique et préservation de l'environnement, en prenant en

CONCLUSION GENERALE

compte l'hétérogénéité de la zone et la consommation d'énergie comme variable d'ajustement. Elle est organisée en deux chapitres. Le chapitre III a eu pour objectif de déterminer les liens de causalité entre les séries du PIB par tête, de la consommation d'énergie par tête et des émissions de CO₂ par tête pour chaque pays de l'Union. Il s'est agit de vérifier les relations hypothétiques et analytiques définies dans la littérature entre le PIB, l'énergie et le CO₂ dans la zone UEMOA. Entre le PIB et l'énergie, ce sont les hypothèses de croissance, de conservation, de rétroaction et de neutralité. La relation peut être nulle ou linéaire entre l'énergie et le CO₂. L'énergie est de façon générale supposée être un facteur de production, d'une part et une source de pollution d'autre part. Les méthodes de correction d'erreurs (VECM), DOLS et FMOLS ont permis respectivement de détecter l'existence de relations de causalité de long terme, et de les estimer. Il ressort que dans le long terme dans les pays de l'UEMOA, l'énergie et la croissance sont des sources d'émissions de CO₂. La consommation d'énergie et le PIB s'influencent mutuellement au Bénin, en Côte d'Ivoire, au Mali et au Togo, vérifiant ainsi l'hypothèse de rétroaction. Au Burkina Faso, au Niger et au Sénégal c'est plutôt l'hypothèse de croissance qui est vérifiée entre le PIB et l'énergie, le PIB « Granger cause » l'énergie.

Enfin, le chapitre IV a évalué les effets des chocs énergétiques et des chocs d'offre, sur le PIB, l'énergie et les émissions de CO₂ dans chaque pays de l'Union. Pour cela nous avons d'abord mesuré le niveau de symétrie des chocs d'offre, des chocs énergétiques et des chocs de pollution entre les pays membres de l'Union, puis calculé les fonctions de réponse impulsionnelles et enfin, effectué la décomposition de la variance de l'erreur de prévision. Il apparaît que les chocs énergétiques et les chocs de pollution ne sont pas symétriques dans la zone UEMOA. Le calcul des coefficients de corrélation des cycles du PIB entre les pays montre qu'ils sont assez bien corrélés, mais en grande partie de façon négative. Celles de l'énergie et des émissions de CO₂ sont aussi corrélées, mais à un degré moindre. En revanche, les chocs de production ou d'offre, les chocs énergétiques et les chocs de pollution sont très peu corrélés dans l'Union. Nous avons déduit de ces résultats que la zone UEMOA n'est pas encore une zone énergétique et environnementale optimale ou du moins aboutie. Les fonctions de réponse et la décomposition de la variance de

l'erreur de prévision mesurent la réaction des variables à un choc et la contribution de chaque type de choc à la variance de l'erreur de prévision. Tous ces calculs sont utiles pour évaluer la façon dont les chocs sur des variables se répercutent à travers un système, dans notre cas, le système énergie – PIB – CO₂. Il ressort que :

- Les variables PIB réel, consommation d'énergie par habitant et émissions de CO₂ par habitant ne répondent pas exactement de la même manière aux chocs de production, énergétique et de pollution dans la zone UEMOA. Ce qui est en conformité avec les résultats de l'étude plus haut qui a montré qu'il y a une asymétrie des chocs dans la zone.

- Le principal déterminant des fluctuations du PIB réel est l'innovation dans le processus de production. Les innovations dans le secteur de l'énergie déterminent en grande partie la dynamique de la consommation d'énergie. Les chocs de pollution sont en grande partie ceux qui expliquent les variations des émissions de CO₂, sauf au Togo où ce sont les chocs énergétiques qui dominent.

- Les chocs de pollution n'ont pas d'effets sur la dynamique du PIB par tête et de la consommation d'énergie dans les pays de l'UEMOA. Ce résultat est en conformité avec les résultats de la détermination des liens de causalité entre les variables PIB, énergie et CO₂.

- Les chocs d'offre, les chocs énergétiques et les innovations dans le secteur de l'environnement expliquent de façon instantanée les variations de la consommation d'énergie et des émissions de CO₂. Seuls les chocs d'offre ont un impact instantané sur la dynamique du PIB.

- Les chocs d'offre et les chocs énergétiques apparaissent très déterminants dans la dynamique des émissions de CO₂, ce qui fait de la consommation d'énergie et de l'activité de production des variables clefs de la lutte contre la grande pollution.

En définitive, il apparaît que la zone UEMOA est dans une bonne dynamique de croissance depuis le début du 21^e siècle. Celle-ci semble être due, en partie, à la coordination des actions des pays membres principalement impulsée après les réformes

CONCLUSION GENERALE

apportées à l'Union en 1994. Cependant, la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effets de serre se sont accrues. La croissance dans l'Union ne serait donc pas une croissance « propre ». Les chocs ne sont pas symétriques dans la zone, elle n'est donc pas une zone énergétique et environnementale optimale. En revanche, des potentialités de coordination existent et peuvent être améliorées. Pour toutes ces raisons, il est plus adapté de mettre en œuvre, dans l'UEMOA pour le moment, une stratégie de croissance durable avec une limitation des émissions de CO₂ basée sur des politiques en termes d'objectifs.

RECOMMANDATIONS

Dans le cadre de la poursuite du double objectif de croissance et de préservation de la qualité de l'environnement, nous faisons les recommandations suivantes :

- Réaliser une véritable transition énergétique en faisant jouer le mécanisme des avantages comparatifs. La zone UEMOA est à cheval sur le littoral et sur le désert. Les pays membres près du littoral – le Bénin, la Côte d'Ivoire, la Guinée Bissau, le Sénégal et le Togo – bénéficient d'une pluviométrie favorable, environ 3000 mm par an, contre environ 100 mm pour les autres. Les pays membres qui sont dans les terres, principalement le Mali, le Niger et le Burkina Faso ont un niveau d'ensoleillement très élevé et intense. Il dure 3000 heures par an et un productible de 5.8 KWh par mètre carré. Il est nécessaire de mettre en place une stratégie commune de transition énergétique fondée sur: la production structurée de l'hydroélectricité dans les pays du littoral, la production structurée de l'énergie solaire dans les pays sahéliens et le renforcement du réseau d'interconnexion.

- Coordonner, moderniser et renforcer les investissements dans les infrastructures énergétiques des pays membres. Il s'agit de résoudre le problème de la vétusté des infrastructures et des délestages qui influencent négativement l'activité et le bien-être des populations.

- Renforcer l'intégration politique dans l'Union, afin d'assainir le jeu démocratique. L'objectif est de mettre en place des mécanismes sous-régionaux pour anticiper et contrôler les crises politiques et institutionnelles. Nous avons montré qu'une crise politico-militaire et institutionnelle dans un pays peut déstabiliser toute la zone et freiner le processus de convergence. Cette dernière est nécessaire à la construction d'une Union forte.

- Faire la promotion d'un environnement sain et gérer de façon concertée et durable les ressources naturelles.

- Coordonner, moderniser et développer le secteur de la biomasse à des fins de production d'électricité. En effet la zone UEMOA a un fort potentiel de biomasse d'origine animale et végétale. Cependant, ce potentiel est fortement exploité de façon traditionnelle qui par conséquent a des effets de pollution.

Toutes ces actions communes visent la réalisation d'un espace socio-économique et géopolitique stable. Cet espace pourra être fortement intégré dans un environnement sain, où les ressources naturelles, mieux orientées, contribueront au développement durable et au bien-être des populations.

Abosedra S. and Baghestani H. (1989): *“New evidence on the causal relationship between United States energy consumption and gross national product”*, Journal of Energy Development, vol. 14, pp 285-292;

Abreu M. et al. (2005): *“Space and growth: a survey of empirical evidence and methods”*, Region et Développement, Vol. 21, pp 13-44;

Agras J. & Chapman D. (1999): *“a dynamic approach to the environmental Kuznets curve hypothesis”*, Ecol. Econ., vol. 28, pp 267-277;

Akanni-Honvo A. (2003): *“intégration régionale, effets frontières et convergence ou divergence des économies en développement »*, Revue Région et Développement N° 17-2003 ;

Akarca A. T. and Long T. V. (1980): *“On the relationship between energy and GNP: a reexamination”*, Journal of Energy Development, vol. 5, pp 326-331;

Akinlo A. E. (2008): *“Energy consumption and economic growth: evidence from 11 Sub-Sahara Africa countries”*, Energy Economics, vol. 30, pp 2391-2400;

Akbostanci E. et al. (2009): *“The relationship between income and environment in Turkey: is there an environmental Kuznets curve”*, Energy Policy, vol. 37, pp 861-867;

Al-Iriani M. A (2006): *“Energy-GDP relationship revisited: an example from GCC countries using panel causality”*, Energy Policy, vol. 34, pp 3342-3350;

Al-Mulali U. (2011): *“Oil consumption, CO₂ emissions and economic growth in MENA countries”*, Energy, vol. 36, pp 6165-6171;

Alam et al. (2011): *“Dynamic modeling of causal relationship between energy consumption, CO₂ emissions and economic growth in India”*, Renewable and Sustainable Energy Review, vol. 15, pp 3243-3251;

- Altinay G. and Karagol E. (2004):** *“Structural break, unit root, and the causality between energy consumption and GDP in Turkey”*, Energy Economics, vol. 26, pp 985-994;
- Anderson et al. (1952):** *“Asymptotic theory of certain ‘goodness of fit’ criteria based on stochastic processes”*, The Annals of Mathematical Statistics, Vol. 23, 193 - 212;
- Andreoni J. and Levinson A. (2001):** *“The simple analytics of the Environmental Kuznets Curve”*, Journal of Public Economics, vol. 80, pp 269-286;
- Ang J. B. (2007):** *“Economic development, pollutant emissions and energy consumption in Malaysia”*, Journal of Policy Modelling, vol. 30, pp 271-278;
- Angeloni I. et al. (2003):** *“Monetary policy transmission in the Euro area : where do we stand ?”*, dans Monetary policy transmission in the Euro area, édité par Angeloni I. et al., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, pp 383-412
- Anselin L. (1988):** *“Spatial econometrics: methods and models”*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht;
- Anselin L. (2006):** *“Spatial econometrics. In T. C. Mills and Patterson K. (eds.), Palgrave Handbook of Econometrics: vol. 1, Econometrics Theory. Basingstoke: Palgrave Macmillan, pp 901 – 941;*
- Ansuategi A et al. (1998):** *“The Environmental Kuznets Curve”* in Van den Bergh J. C. J. M. and Holkes M. W
- Apergis N. and Payne J. E. (2009a):** *“Energy consumption and economic growth in Central America: evidence from a panel cointegration and error correction model”*, Energy Economics, vol. 31, pp 641-647;
- Apergis N. and Payne J. E. (2009b):** *“Energy consumption and economic growth: evidence from the commonwealth of independent states”*, Energy Economics, vol. 31, pp 641-647;
- Apergis N. and Payne J. E. (2009c):** *“CO₂ emissions, energy usage, and output in Central America”*, Energy Policy, vol. 37, pp 3282-3286;
- Apergis N. and Payne J. E. (2010):** *“Energy consumption and growth in South America: Evidence from a panel error correction model”*, Energy Economics, vol. 32, pp 1421 - 1426;

Arbia G. et al. (2008): “Clusters of firms in space and time”, Department of Economics Working Papers, University of Trento, Italia, N° 0902;

Arellano M. and Bond S. (1991): “*Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations*”, Review of Economic Studies, Vol. 58, pp 277 – 297;

Arellano M. & Bover O. (1995): “*Another look of instrumental variables estimation of error component models*”, Journal of Econometrics, Vol. 68, pp 29-51;

Arouri et al. (2012): “*Energy consumption, economic growth and CO₂ emissions in Middle East and North African countries*”, Energy Policy, vol. 45, pp 342-349;

Arrow et al. (1995): “*Economic growth, carrying capacity and the environment*”, Science 268, 520-521;

Asafu-Adjaye J. (2000): “*The relationship between energy consumption, energy prices and economic growth: time series evidence from Asian developing countries*”, Energy Economics, vol. 22, pp 615-625;

Auty R. M (1985): “*Export base theory staple flexibility and tropical regional development*”, Singapore Journal of tropical geography, Vol. 6, pp 13-22;

Baldwin R. (1995): “*Does sustainability require growth? In: Goldin I., Winters L. A. (eds)*”, The Economics of Sustainable Development, Cambridge University Press, Cambridge UK, pp 19-47;

Bai J. and Ng S. (2004): “*A PANIC Attack on Unit Roots and Cointegration.*”, Econometrica, vol. 72, pp. 1127-1177.

Bai J. et Perron P. (2003a): “*Computation and analysis of multiple structural change Models*”, Journal of Applied Econometrics, Vol. 18, pp. 1 – 22;

Bai J. et Perron P. (2003b): “*Critical values for multiple structural change tests*”, Econometrics Journal, Vol. 6, pp. 72-78

Baltagi B. H. (2001): “*Econometrics analysis of panel data*”, (Wiley, Chichester);

Baltagi B. H. and Li D. (1999): “*Prediction in the panel data model with spatial correlation. In L. Anselin and R. J. G. M. Florax (eds.)*”, New advances in Spatial Econometrics;

BARDE J-P (1991): *“Economic Instruments for Controlling PMPs: a Comment in Hans Opschoor and David Pearce (eds) Persistent Pollutants”, Economics and Policy*, Kluwers Academic Publishers;

Barro R. J. (1991): *“Economic growth in a cross section of countries”, Quarterly Journal of Economics*, Vol. 86, pp 407 – 443;

Barro R. J. and Sala-i-Martin X. (1991): *“Convergence”, Papers 645*, Yale – Economic growth center;

Barro R. J. and Sala-i-Martin X. (1992): *“Convergence across states and regions”, Brookings Papers on Economic activity*, Vol. 1, pp 107 – 182;

Barro R. J. and Sala-i-Martin X. (1995): *“Economic growth”, McGraw-Hill*, New York;

Baum J. K. et al. (2003): *« Collapse and conservation of shark populations in the northwest Atlantic », Science* 299, 389;

Baumol W. (1986): *“Productivity growth, Convergence and welfare”, American Economic Review*, Vol. 76, pp 1072 – 1085;

Baumont C. et al. (2000): *“Geographic spillover and growth: A spatial econometric analysis for European regions”, JEL Classification: C51, R11, R15;*

Baxter M. and King R. G. (1999): *“Measuring business cycles: Approximate bandpass filters”, The Review of Economics and Statistics*, Vol. 81, pp 575 – 593;

Bayoumi T. A. and Eichengreen (1993): *“Shocking aspects of European Monetary Integration”, In Toress and Giavazzi F. (Eds.), “Adjustment and growth in the European Monetary Union”, Cambridge, London: CEPR, Cambridge University Press;*

Beck et al. (2006): *“The influence of financial and legal institutions on firm size”, Journal of Banking and Finance*, Vol. 30, pp 2995-3015;

Becart A. & Ondo Ossa A. (1997): *“Zones Monétaires optimales et convergence dans les Unions monétaires de la zone Franc en Afrique », Communication au Congrès de l’Association des Economiste de langue française, Porto ;*

- Beckerman W. (1992):** *“Economic growth and the environment: Whose growth? Whose environment?”*, World Development, vol. 20, pp 481-496;
- Belloumi M. (2009):** *“Energy consumption and GDP in Tunisia: cointegration and causality analysis”*, Energy Policy, vol. 37, pp 2745-2753;
- Beltratti A. (1997):** *“Models of economic growth with environmental assets”*, Kluwer Academic, London;
- Bera A. and Yoon M. (1993):** *“Specification testing and locally misspecified alternatives”*, Econometric theory, Vol. 9, pp 649 – 658;
- Bernard A. B. and Durlauf (1995):** *“Convergence in international output”*, Journal of Applied Econometrics, Vol. 10, pp 97 – 108,
- Bernard A. and Jones C. (1996):** *“Productivity and convergence across US States and industries”*, Empirical Economics, Vol. 21, pp 113 – 135;
- Bernat A. (1996):** *“Does manufacturing matter? A spatial econometric view of Kaldor’s laws”*, Journal of Regional Science, vol. 36, pp 463 – 477;
- Bhagawati J. (1993):** *“The case for free trade”*, Scientific American, pp 42-49;
- Bhattacharya P. K. (1987):** *“Maximum likelihood estimation of a change-point in the distribution of independent random variables, general multiparameter case”*, Journal of Multivariate Analysis, Vol. 23, pp 183 – 208;
- Bivand R. and Brunstad R. (2006):** *“Further explorations in interactions between agricultural policy and regional growth in Western Europe: Approaches to nonstationarity in spatial econometrics”*, Papers in Regional Science, Vol. 85 (2);
- Blanchard O. and Quah D. (1989):** *“The dynamic effects of aggregate demand and supply disturbances”*, American Economic Review, Vol. 79, pp 655 – 673;
- Blanchard O. and Perotti R. (2002):** *“An empirical characterization of the dynamic effects of changes in government spending and taxes on output”*, Quarterly Journal of Economics, pp 1329 – 1368;

Blonigen B. A. et al. (2007) : « *FDI in space : Spatial autoregressive relationships in foreign direct investment* », European Economic Review, Vol. 51, pp 1303-1325;

Blommestein H. J. (1983): “*Specification and estimation of spatial econometric models*”, regional Science and Urban Economics, Vol. 43, pp 251 – 270;

Blundel R. and Bond S. (1998): “*Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models*”, Journal of econometrics, Vol. 87, pp 115 – 143;

Bonnefond C. (2013): “*Growth dynamics and conditional convergence among Chinese provinces: a panel data investigation using system GMM estimator*”, Cahier du GRETHA N° 2013-23, October;

Bouayad-Agha S. et al. (2013) : « *Fostering the development of European regions : A spatial dynamic panel data analysis of the impact of cohesion policy* », regional Studies, Taylor & Francis Journals, Vol. 47, pp 1573-1593, October;

Bowden N. and Payne J. E. (2009): “*The causal relationship between US energy consumption and real output: a disaggregates analysis*”, Journal of Policy Modeling, vol. 31 (2), pp 180-188;

Breitung, J. (2000): “*The local power of some unit root tests for panel data.*” Advances in Econometrics, vol 15, pp 161–177;

Brock W. A. and Taylor M. S. (2010): “*The green Solow model*”, Journal of Economic Growth, Vol. 15, pp 127 – 153;

Bulte E. H. and Van Soest D. P. (2001): “*Environmental degradation in developing countries: households and the (reverse) environmental Kuznets curve*”, Journal of Development Economics, vol. 65, pp 225-235;

Bulte E., Strazicich M. C. and List J. A. (2003): “*Regulatory federalism and the distribution of air pollutant emissions*”, Working Paper University of Maryland;

Burns A. F. and Michell W. C. (1946): “*Measuring business cycles*”, (New York, New York: National Bureau of Economic Research);

Caldara D. (2011): “*Essays on empirical macroeconomics*”, Department of economics, Stockholm University, Institute for international economic studies;

- Canova F. and Pina J. (1998):** *“Monetary policy misspecification in VAR models”*, CEPR working paper;
- Caselli F., Esquivel G. and Lefort F. (1996):** *“Reopening the convergence debate: A new look at cross-country growth empirics”*, Journal of Economic Growth, vol. 1, pp 363 – 389;
- Carlino G. and Mills L. (1996):** *“Convergence and the US states: a time series analysis”*, Journal of Regional Science, Vol. 36, pp 597 – 616;
- Chen S. T. Kuo H-I. Chen C. C. (2007):** *“The relationship between GDP and electricity consumption in 10 Asian countries”*; Energy Policy, vol. 35, pp 2611-2621;
- Cheng B. S. (1995):** *“An investigation of cointegration and causality between energy consumption and economic growth”*, Journal of Energy Development, vol. 21, pp 73-84;
- Chen B. S. and Lai W. T. (1997):** *“An investigation of cointegration and causality between energy consumption and economic activity in Taiwan province in China”*, Energy Economics, vol. 19, pp 435 - 444;
- Chiou-Wei S. Z. Chen, Ching-Fu and Zhu Z. (2008):** *“Economic growth and energy consumption revisited: evidence from linear and nonlinear granger causality”*, Energy Economics, vol. 30, pp 3063-3076;
- Christiano L. and Fitzgerald J. (2003):** *“The band pass filter”*, International Economic Review, Vol. 44, pp 435 – 465;
- Clarida R. and Gali J. (1994):** *“Sources of real exchange rate fluctuations: How important are nominal shocks?”*, NBER Working Paper N° 4658, presented at the 1994 Texas Conference on Monetary economics, Federal Reserve Bank of Dallas;
- Climent F. and Pardo A. (2007):** *“Decoupling factors on the energy – output linkage: the Spanish case”*, Energy Policy, Vl. 35, pp 522 – 528;
- Combey A. & Mally K. (2010):** *“The impact of convergence, stability and growth pact on real convergence in the WAEMU”*, MPRA paper N° 24408;
- Cole M. A et al. (1997):** *« The environmental Kuznets curve : An empirical analysis »*, Environmental and Development Economics, Vol. 2, pp 401-416 ;

Cole M. A. (200b) : « *Trade liberalization, economic growth and the environment* », Cheltenham, UK and Northampton, MA: Edward Elgar;

Cortinhas C. (2006): “*Asymmetry of Shocks and Convergence in Selected Asean Countries: A Dynamic Analysis*”, University of Exeter Economics Department, Discussion Paper 06/08.

Cropper M. & Griffiths C. (1994): “*The interaction of population growth and environmental quality*”, American Economic Review, Vol. 84, pp 250-254;

Diakoulaki D. and Mandaraka M. (2007): “*Decomposition analysis for assessing the progress in decoupling industrial growth from CO₂ emissions in the EU manufacturing sector*”. Energy Economics, Vol. 29, pp 636 – 664;

De Serres A. et Lalonde R. (1994) : « *Symétrie des chocs touchant les régions Canadiennes et choix d'un régime de change* », Banque du Canada, doc. De travail 94 – 9 ;

Dessus S. and Bussolo M. (1998): “*Is there a trade-off between trade liberalization and pollution abatement? A computable general equilibrium assessment applied to Costa Rica*”, Journal of Policy Modeling, vol. 20, pp 11-31;

Dickey, D.A., and Fuller, W.A. (1979): “*Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Root*”, Journal of the American Statistical Association, vol. 74, pp 427-431;

Dijkgraaf E. & Vollebergh H. R. J. (1998): “*Environmental Kuznets revisited: time series versus panel estimation, the CO₂ case*”, Erasmus University Rotterdam, OCFEB Research memorandum N° 9911;

Dillings-Hansen M. & Smith V. (1997): “*Regional income growth and convergence. Evidence of Danish municipality, in Sorensen C. (Eds), empirical evidence of regional growth:*”, Center-periphery discussion, Rapport of expert comity to the Danish ministry of the interior, October;

Dinda S. (2002): “*A theoretical basis for Environmental Kuznets Curve*”, Economic Research Unit, Indian Statistical Institute, Kolkata. Mimeo;

- Dinda S. (2004):** *“Environmental Kuznets Curve Hypothesis: A survey”*, Ecological Economics, vol. 49, pp 431-455;
- Dinda S. & Coondoo D. (2006):** *“Income and emissions: a panel data-based cointégration analysis”*, Ecological Economics, vol. 57, pp 167-181;
- Diop P. (2002):** *“Convergence nominale et convergence réelle: Une application des concepts de σ -convergence et de β -convergence aux économies de la CEDEAO”*, UEMOA, notes d’informations statistiques de la BCEAO, Décembre ;
- Domar E. (1947):** *“Expansion and employment”*, American Economic Review, Vol. 37, pp 343 – 355;
- Dramani L. (2010):** *“Convergence économique et spatial en Afrique: Cas des pays de la zone CFA”*, CRES 2010/31 ;
- Drine I. et Rualt C. (2009) :** *« Une analyse économétrique des sources de fluctuation du taux de change réel dans trois pays en développement »*, Revue économique, Vol. 60, pp 1421 – 1453 ;
- Elhorst J. P. (2010c) :** *« Dynamic panels with endogeneous interaction effects when T is small »*, Regional Science and Urban Economics, Vol. 40, pp 272-282;
- Eichenbaum M. J. and Fisher D. M. (2004):** *“Fiscal policy in the aftermath of 9/11”*, Northwestern University, Working 32704;
- Ekins P. (1997):** *“The Kuznets curve for the environment and economic growth: examining the evidence”*, Environment and Planning A, Vol. 29, pp 805-830;
- Engle R. F. and Granger C. W. J. (1987):** *“Cointegration and Error-Correction: Representation, Estimation and Testing”*, Econometrica, vol. 64, pp. 813-836.
- Erdal G. et al. (2008):** *“The causality between energy consumption and economic growth in Turkey”*, Energy Policy, vol. 36, pp 3838-3842;
- Erol U. and Yu E. S. H. (1987):** *“On the causal relationship between energy and income for industrialized countries”*, Journal of Energy Development, vol. 13, pp 113-122;

Evans P. and Karras G. (1996): *“Convergence revisited”*, Journal of Monetary Economics, Vol. 37, pp 249 – 265;

Ezzati M., Singer B. H. and Kammen D. M. (2001): *“Towards an integrated framework for development and environmental policy: the dynamics of Environmental Kuznets Curves”*, World Development, vol. 29, pp 1421-1434;

Farhani S. & Ben Rejeb J. (2012): *“Energy consumption, economic growth and CO₂ emissions: evidence from panel data for MENA region”*, International Journal of Energy Economics and Policy, vol. 2, pp 71-81;

Fatai K. et al. (2004): *“Modelling the causal relationship between energy consumption and GDP in New Zeland, Australia, India, Indonesia, the Philippines and Thailand”*, Mathematics and Computers in Simulation, vol. 34, pp 431-445,

Fatas A. and Mihov I. (2001a): *“Fiscal policy and business cycles: An empirical investigation”*, (“Politica fiscal y ciclos economicos: una investigacion empirica”), Moneda y Credito, Vol. 212, pp 167 – 210;

Fatas A. and Mihov I. (2001a): *“The effects of fiscal policy on consumption and investment: Theory and evidence”*, draft, INSEAD;

Faust J. (1998): *“On the robustness of the identified VAR conclusions about money”*, Carnegie Rochester Conference Series on Public Policy, Vol. 49, pp 207 – 244;

Favero J. (2001): *Applied Macroeconometrics*, Oxford University Press;

Fingleton B. and Lopez-Bazo E. (2006): *“Empirical growth models with spatial effects”*, Papers in regional Science, Vol. 85, n° 2;

Fisher M. M. and Stirböck C. (2004): *“Regional income convergence in the enlarged Europe, 1995 – 2000: A spatial econometric perspective”*, ZEW discussion paper / Center for European Economic Research;

Florax R. and Folmer H. (1992): *“Specification and estimation of spatial linear regression models: Monte Carlo evaluation of pre-test estimators”*, Regional Science and Urban Economics, Vol. 22, pp 404 – 432;

Forster B. (1973): *“Optimal Capital Accumulation in a Polluted Environment”*, Southern Economic Journal, Vol. 39, pp 544-547;

Francis B. M. and Moseley L. Iyare S. O. (2007): *“Energy consumption and projected growth in selected Caribbean countries”*, Energy economics, vol. 29, pp 1224-1232;

Fujita et al. (1999): *“the Spatial Economy: cities, regions and international trade”*, MIT Press, Cambridge, MA;

Freitas L. C. and Kaneko S. (2007): *“Decomposing the decoupling of CO₂ emissions and economic in Brazil”*, Ecological Economics, Vol. 70, pp 1459 – 1469;

Friedl B. & Getzner M. (2003): *“Determinants of CO₂ emissions in a small open economic”*, Ecological Economics, vol. 45, pp 133-148;

Garatti (2003 a et b): *“Implication des chocs communs et spécifiques pour le federalism budgétaire européen”*, Economie Internationale, Vol. 93, pp 89 – 116 ;

Gali J. (1992): *“How well does the IS – LM model fit postwar US data”*, Quarterly Journal of Economics, 709 – 738;

Galeotti M. & Lanza A. (1999a): *« Desperately seeking (Environmental) Kuznets”*, Fondazione ENI Enrico Mattei, Milan, Italy, Nota di lavoro 2.99;

Galeotti M. & Lanza A. (1999a): *« Richer and cleaner: A study of carbon dioxide emission in developing countries”*, Fondazione ENI Enrico Mattei, Milan, Italy, Nota di lavoro 87.99;

Georgescu-Roegen N. (1975): *“Energy and economic myth”*, southern Economic Journal, Vol. 41, pp 347-381;

Gali J. (1992): *“How well does the IS-LM model fit postwar US data?”*, Quarterly Journal of Economics, vol. 107, pp 709-738;

Ghali K. H. and El-Sakka M. I. T (2004): *“Energy use and output growth in Canada: A multivariate cointegration analysis”*, Energy Economics, Vol. 26, pp 225 – 238;

BIBLIOGRAPHIE

Gangadharan L. and Valenzuela M. R. (2001): *“Inter-relationship between income, health and the environment: extending the Environment Kuznets Curve hypothesis”*, Ecological Economics, vol. 36, pp 513-531;

Gawande K., Berrens R. P., Bohara A. K. (2001): *“A consumption-based theory of the Environmental Kuznets Curve”*, Ecological Economics, vol. 37, pp 101-112;

Glassure Y. (2002): *“Energy and national income in Korea: further evidence on the role of omitted variables”*, Energy Economics, vol. 24, pp 355-365;

Glasure Y. Y. and Lee A. (1997): *“Cointegration, error correction and the relationship between GDP and energy: the case of South Korea and Singapore”*, Resource and Energy Economics, vol. 20, pp 17-25;

Goaied M. and Sassi S. (2012): *“Financial development and economic growth in the MENA region: What about Islamic banking development”*,

Granger C. W. J. (1981): *“Some properties of time series data and their use in econometric model specification”*, Journal of econometrics, Vol. 16, pp 121 – 130;

Granger C. W. J. (1969): *“Investigating causal relations by econometric models and cross spectral methods”*, Econometrica, Vol. 37, pp 424 – 438;

Groen J. J. J. and Kleibergen F. (2003): *“Likelihood-based cointegration analysis in panels of vector error correction models”*, Journal of Business and Economics Statistics, Vol. 21, pp 295 – 318;

Grossman G. M. and Krueger A. B. (1991): *“Environmental impacts of the North American Free trade Agreement*, NBER working paper 3914;

Gujarati D. N. (1995): *“Basic econometrics”*, (McGraw Hill: New York);

Hadri K. (2000): *“Testing for stationarity in heterogeneous panel data”* Econometrics Journal, vol. 3, pp 148-161;

Hakim B. H. et al. (2007): *« Why doesn't regional integration improve income convergence in Africa »*, African trade Policy Center, United Nations Economic Commission for Africa;

Hansen L. P. (1982): *“Large sample properties of Generalized Method of Moment estimators”*, Econometrica, Vol. 50, pp 1029 – 1054,

Hansen B. E. and Seo B. (2002): *“Testing for two-regime threshold cointegration in vector error correction models”*, Journal of Econometrics, vol. 110, pp 293-318;

Harrod R. F. (1948): *“Towards a dynamic Economics”*, London: MacMillan;

Hausmann J. A. (1978): *“Specification Tests in Econometrics”*, Econometrica, vol 46, pp 1251-1271;

Hawkins D.M. (1977): *“Testing a sequence of observations for a shift in location”*, Journal of the American Statistical Association, Vol. 72, pp 180 - 186;

Heil M. T. & selde T. M. (1999): *“Panel stationarity with structural breaks: carbon emissions and GDP”*, Applied Economics Letters, vol. 6, pp 223-225;

Hill J. R. & Magnani E. (2000): *“An exploration of the conceptual and empirical basis of the environmental Kuznets curve”*, School of Economics, university of New South Wales, Sydney, mimeo;

Hinkley D. V. (1970): *“Inference about the change-point in a sequence of random variables”*, Biometrika, Vol. 57, pp 1 – 17;

Hoeffler A. E. (2000): *“The augmented Solow model and the African growth debate”*, CID Working Paper 36, Center for International Development at Harvard University;

Holtz-Eakin D. & Selden T. M. (1995): *“Stocking the fires? CO₂ emissions and economic growth”*, Journal of Public Economics, Vol. 57, pp 85-101;

Hsiao C. (1986): *“Analysis of panel data”*, Econometric Society Monographs N° 11, Cambridge University Press;

Huang B. N. Hwang M. J. and Yang C. W. (2008): *“Causal relationship between energy consumption and GDP growth revisited: a dynamic panel data approach”*, Ecological Economics, vol. 67, pp 41-54;

Huang D. (1991): *“The causal relationship between energy and GNP: The case of Taiwan Province of China”*, Journal of Energy and Development, Vol. 16, pp 219 – 226;

Hurlin C. et Mignon V. (2005) : *“ Une synthèse des tests de racine unitaire sur données de panel ”*, Économie et Prévision vol. 3-4-5, n° 169, pp. 253-294.

Ighodaro C. A. U. (2010): *“Co-integration and causality relationship between energy consumption and economic growth: further empirical evidence for Nigeria”*, Journal of Business Economics and Management”, vol. 11, pp 97-111;

Im K. S., Pesaran M. and Shin Y. (2003): *“Testing for unit roots in heterogeneous panels”*, Journal of Econometrics, Vol. 115, pp 53 – 74;

Islam N. (1995): *“Growth empirics: A panel data approach”*, The quarterly Journal of Economics, Vol. 110, pp 1127 – 1170;

Jaeger W. (1998): *“A theoretical basis of the environmental inverted U curve and implications for international trade”*, Williams College. Mimeo;

Jalil A. &Mahmud S. F. (2009) : *« Environmental Kuznets curve for CO₂ emissions: A cointégration analysis for China”*, Energy Policy, pp 5167-5172;

Jobert T. and Karanfil F. (2007): *“Sectoral energy consumption by source and economic growth in Turkey”*, Energy Policy, vol. 35, pp 5447-5456;

Jobert T et al. (2010): *“Convergence of per capita carbon dioxide emission in the EU: Legend or reality?”*, Energy Economics, vol. 32, pp 1842 - 1850;

Johansen S. (1988): *“Statistical analysis of cointegration vectors”*, Journal of Economics Dynamic and Control, vol. 12, pp 231-254;

Johansen S. (1992): *“Determination of the cointégration rank in presence of linear trend”*, Oxford Bulletin of Economics and Statistics, Vol. 54, pp 383 – 397;

Johansen S. (1991): *“Estimation and hypothesis testing of cointégration vectors in Gaussian vector autoregressive models”*, Econometrica, Vol. 59, pp 1551 – 1580;

- Johansen S. (1995):** *“Likelihood-based inferences in cointegration vector autoregression models”*, Advanced texts in Econometrics, Oxford et New York, Oxford University Press, 267 p;
- Johansen S. Juselius K. (1992):** *“Some structural hypotheses in a multivariate cointegration analysis of purchasing power parity and uncovered interest parity for the UK”*, Journal of Econometrics, vol. 53, pp 211-244;
- John A. and Pecchenino R. (1994):** *“An overlapping generation model of growth and the environment”*, Economic Journal, vol. 104, pp 1393-1410;
- Jones L. E. and Rodolfo E. M. (1995):** *“A positive model of growth and pollution controls”*, NBER working paper 5205;
- Jordan T. J. & Lenz C. (1999) :** *« Demand and supply shocks in the IS-LM model: empirical findings for five countries”*, Journal of Economics and Statistics, vol. 218, pp 725-744;
- Jumbe C. B. L. (2004):** *“cointegration and causality between electricity consumption and GDP: empirical evidence from Malawi”*, Energy Economics, vol. 26, pp 61-68;
- Kadekodi G. ang Agarwal S. (1999):** *“Why an inverted U-shaped Environmental Kuznets Curve may not exist?”*, Institute of Economic Growth, Delhi. Mimeo;
- Kane (S. C.) (2009):** *“Demande d’énergie et croissance économique dans l’UEMOA: une analyse sur panel hétérogène non stationnaire”*, Revue africaine de l’intégration, vol. 3, N° 1 ;
- Kao C. and Chiang M-H. (1999):** *“On the estimation and inference of a cointegrated regression in panel data”*, Center For Policy Research Working Papers 2;
- Karanfil F. (2008):** *“Energy consumption and economic growth revisited: does the size of unrecorded economy matter?”*, Energy Policy, vol. 36, pp 3029-3035;
- Kareem S. D. et al. (2012):** *“Energy consumption, pollutant emissions and economic growth: China experience”*, The International Journal of Applied Economics and Finance, vol. 6, pp 136-147;

Kijima Y. (2011): *“An inquiry into constraints on a green revolution in sub-Saharan Africa: The case of NERICA rice in Uganda”*, World Development, Vol. 39, pp 77-86;

Kleibergen F. and Paap R. (2006): *“Generalized reduced rank tests using the singular value decomposition”*, Journal of Econometrics, Vol 27 (1), pp 97 – 126;

Kassé (M.) (2007): *“Le pétrole un enjeu planétaire”* www.mkasse.co

Knight et al. (1999): *“The sfr6 mutation in arabidopsis suppresses low-temperature induction of genes dependent on the CRT/DRE sequence motif”*, The Plant Cell, Vol. 11, pp 875 – 886;

Komen R., Gerking S. and Folmer H. (1997): *“Income and environmental R&D: empirical evidence from OECD countries”* Environment and Development Economics, vol. 2, pp 505-515;

Kraft J. and Kraft A. (1978): *“On the relationship between energy and GNP”*, Journal of Energy and Development, vol. 3, pp 401-403;

Kuznets S. (1955): *“Economic Growth and Income Equality”*, American Economic Review, Vol. 45, pp 1 – 28;

Larson et al. (2001): *“Likelihood-based cointegration tests in heterogeneous panels”*, Econometrics Journal, Vol. 4, pp 109 – 142;

Le Gallo J. (2002): *“Econométrie spatiale: L'autocorrélation spatiale dans les modèles de régression linéaire”*, Economie et Prévision 2002/ 4, n° 155, p 139 – 157 ;

Le Gallo J. (2004): *“Space-time analysis of GDP disparities in European regions : A Markov chains approach”*, International Region Science Review, Vol. 27, n° 2, pp 138 – 163 ;

Lee C. C. (2005): *“Energy consumption and GDP in developing countries: a cointegrated panel analysis”*, Energy Economics, vol. 27, pp 415-427;

Lee C. C. (2006): *“the causality relationship between energy consumption and GDP in G-11 countries revisited”*, Energy Policy, vol. 34, pp 1086-1093;

- Lee C. C. and Chang C. P. (2007b):** *“energy consumption and GDP revisited: a panel analysis of developed and developing countries”*, Energy Economics, vol. 29, pp 1206-1223;
- Lee C. C. and Chang C. P. (2008):** *“Energy consumption and economic growth in Asian economies: A more comprehensive analysis using panel data”*, Resource and Energy Economics, vol. 30, pp 50-65;
- Lee L. F. & Yu J. (2010c):** *“Efficient GMM estimation of spatial dynamic panel data models with fixed effects”*, <http://www.economics.smu.edu.sg/events/Paper/LungfeiLee.pdf>;
- Lesage J. P. (2008):** *“An introduction to spatial econometrics”*, Revue d'Economie Industrielle, n° 123, 3e trimestre 2008;
- Levin A. and Lin C. F. (1992):** *“Unit root tests in panel data: Asymptotic and finite sample properties”*, Discussion Paper 56, Department of Economics, University of California and San Diego;
- Levin A., Lin Chien-Fu and Chu C. S. J. (2002):** *“Unit Root Test in Panel Data: Asymptotic and Finite Sample Properties”*, Journal of Econometrics, 2002, 108, pp. 1 – 24;
- Liu J. et al. (1997):** *“On segmented multivariate regressions”*, Statistica Sinica, Vol. 7, pp 497 –525
- Lieb C. (2003):** *“The environmental Kuznets curve and satiation: A simple static model”*, Environment and Development Economics Vol. 7, pp 429-448;
- List J. A. & Gallet C. A. (1999):** *“The environmental Kuznets curve: does one size fit all?”*, Ecological Economics, Vol. 31, pp 409-423;
- Lopez-Bazo et al. (1999):** *“Regional economic dynamic and convergence in the European Union”*, The Annals of Regional Science, Vol. 33, pp 343 – 370;
- Lopez R. (1994):** *“The environment as a factor of production: the effects of economic growth and trade liberalization”*, Journal of Environmental Economics and Management, vol. 27, pp 163-184;
- Luptacik M. and Schubert U. (1982):** *“Optimal Economic Growth and the Environment”*, Economic Theory of Natural Resources, Wien, ysaica;

- Maddala G. S. and Wu S. (1999):** *“A comparative study of unit root tests with panel data and a new simple test”*, Oxford Bulletin of Economics and Statistics, Vol. 61, pp 631 – 652;
- Magrini S. (1999):** *“The evolution of income disparities among the regions off European Union”*, Regional Science and Urban Economics, vol. 29, pp 257 – 281;
- Mahadevan R. and Asafu-Adjaye J. (2007):** *“Energy consumption, economic growth and prices: A reassessment using panel VECM for developed and developing countries”*, Energy Policy, vol. 30, pp 2481-2490;
- Mankiw et al. (1992):** *“A contribution to the empirics of economic growth”*, Quarterly Journal of Economics, Vol. 107, pp 407 – 438;
- Masih A. and Masih R. (1996):** *“Energy consumption and real income temporal causality, results for a multi-country study based on cointegration and error correction techniques”*, Energy Economics, vol. 18, pp 165-183;
- Masih A. and Masih R. (1997):** *“on temporal causal relationship between energy consumption, real income and prices: some new evidence from Asian energy dependent NICs based on a multivariate cointegration/vector error correction approach”*, Journal of Policy Modeling, vol. 19, pp 417-440;
- Matyas L. & Sevestre P. (2008):** *“The econometrics of panel data”*, Springer Verlag, Third completely new edition, 954 pp;
- McCoskey S. and Kao C. (1998):** *“A Residual-Based Test of the Null of Cointegration in Panel Data”*, Econometric Reviews, vol. 17, pp. 57-84.
- Meadows et al. (1972):** *“The limits to growth”*, Universe Group. New York;
- Mehrara M. (2007):** *“Energy consumption and economic growth: the case of oil exporting countries”*, Energy Policy, vol. 35, pp 2939-2945;
- Mignon V. (2004):** *“Tests de racine unitaire et de cointégration sur données de panel: Une revue de la littérature”*, www.u-cergy.fr
- Millimet D. L. et al. (2000):** *« The Environmental Kuznets Curve : real progress or misspecified models”*, Department of Economics, Southern Methodist University, Dallas, mimeo.

Moomaw W. R. & Unruh G. C. (1997): *“Are environmental Kuznets curves misleading us? The case of CO₂ emissions”*, Environment and Development Economics, Vol. 2, pp 451-463;

Moran P. A. P. (1950a): *“Notes on continuous stochastic phenomena”*, Biometrika, Vol. 37, pp 17 – 23;

Moran P. A. P. (1950b): *“A test for serial independence of residuals”*, Biometrika, Vol. 37, pp 178 – 181;

Mountford A. and Uhlig H. (2005): *“What are the effects of fiscal policy shocks?”*, SFB 649, Discussion Paper 2005 – 039;

Mountford A. and Uhlig H. (2009): *“What are the effects of fiscal policy shocks?”*, Journal of Applied Econometrics, John Wiley and Sons, ltd., Vol. 24, pp 960 – 992;

Mozumder P. and Marathe A. (2007): *“Causality relationship between electricity consumption and GDP in Bangladesh”*, Energy Policy, vol. 35, pp 395-402;

Munasinghe M. (1999): *“Is environmental degradation an inevitable consequence of economic growth: tunneling through the environmental Kuznets curve”*, Ecological Economics, vol. 29, pp 89-109;

Mundell R. A. (1961): *“A theory of optimum currency areas”*, American Economic Review, Vol. 51, pp 657 – 665;

Nachane D. M., Nadkarni R. M. and Karnik A. V. (1988): *“Cointegration and causality testing of the energy-GDP relationship: a cross-country study”*, Applied Economics, vol. 20, pp 1511-1531;

Nakelse P. et al. (2011): *“Croissance et convergence en Afrique: Une analyse en panels dynamiques”*, JEL classification : C12, C33, O41, O55.

Narayan P. K. and Smyth R. (2008): *“Energy consumption and real GDP in G-7 countries: New evidence from panel cointegration with structural breaks”*, Energy economics, vol. 30, pp 2331-2341;

Narayan Paresh K. and Smyth Russell (2009): *“Multivariate granger causality between electricity consumption, exports and GDP: Evidence from a panel of Middle Eastern countries.”*, Energy Policy, vol. 37, pp. 229–236;

NDiaye M. (2006): *“UEMOA: une intégration à deux vitesses à travers les clubs de convergence »*, Université Cheik Anta Diop de Dakar, Sénégal. Journées sur « Intégration, développement économique et transition », Paris, Septembre. AUF, PEP, DIAL ;

Nelson C. R. & Plosser C. I. (1982) : *« trend versus random walks in macroeconomic time series: some evidence and applications »*, Journal of Monetary Economics, vol. 10, pp 139-162;

N’Goma J-B. M. (2000): *“Analyse des chocs d’offre et de demande dans la zone CFA: une method structurelle d’autoregresssion vectorielle”*, Communication au 40^e Congrès Annuel de la Société Canadienne de Sciences Economiques, Montréal, du 17 au 18 mai ;

Nguyen P. (2005): *« Distribution dynamics of CO₂ emissions »*, Environmental and Resource Economics, Vol. 32, pp 495-508;

Nickell S. (1981): *« Biases in dynamic models with fixed effects »*, Econometrica, Vol. 49 (2), pp 1417 – 1426;

Okey M. K. N. (2009): *“Energy consumption and GDP growth in WAEMU countries: A panel data analysis”*, Munich Personal RePEc Archive. On line at [http://mpira.ub.uni-muenchen.de/15521/MPRA Paper No. 15521](http://mpira.ub.uni-muenchen.de/15521/MPRA_Paper_No.15521), posted 02. June 2009/ 13:50;

Ozturk I. (2010): *“A literature survey on energy-growth nexus”*, Energy Policy, vol. 38, pp 340-349;

Ozturk I & Acaravci A (2010): *“The causal relationship between energy consumption and GDP in Albania, Bulgaria, Hungary and Romania: Evidence from ARDL bound testing approach”*, Applied Energy, vol. 87, no. 6, pp.1938-1943;

Pao H. T. & Tsai M. C. (2011): *“Multivariate Granger causality between CO₂ emissions, energy consumption, FDI (Foreign Direct Investment) and GDP (Gross Domestic Product): evidence from a panel of BRIC (Brazil, Russian Federation, India and China) countries”*, Energy, vol. 36, pp 685-693;

Pace R-k. & LeSage J. P. (2006): *“Interpreting spatial econometric models”*, Paper presenting at the Regional Science Association International North America meetings, Toronto, CA;

Pagan A. R. & A. D. Hall (1983): *“Diagnostics tests as residual analysis”*, *Econometric Review*, Vol. 2, pp 159-218;

Panayotou T. (1993): *“Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development”*, Working Paper WP238 Technology and Employment Programme, Geneva: International Labor Office;

Panayotou T. (2003): *“Economic growth and the environment”*, *Economic Survey of Europe*, No 2;

Parent O. & LeSage J. P. (2010): *« A spatial dynamic panel model with random effect applied to commuting times »*, University of Cincinnati, Economic Working Papers series 2010-01, University of Cincinnati, Economics Department;

Parent O. & LeSage J. P. (2011): *« A space-time filter for panel data model containing random effect »*, Elsevier, Vol. 55, pp 475-490;

Payne J. E. (2009): *“On the dynamics of energy consumption and output in the US”*, *Applied Energy*, vol. 86 (4), pp 575-577;

Pearson P. (1994): *“Energy, externalities and environmental quality: will development care the ills it creates?”*, *Energy studies Review*, Vol. 6, pp 199-216;

Pedroni P. (1996): *“Fully modified OLS for heterogeneous cointegrated panels and the case of purchasing power parity”*, Indiana University working Paper in Economics 96-06;

Pedroni P. (1999): *“Critical values for cointegration tests in heterogeneous panel with multiple regressors”*, *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, Vol. 61, pp 653 – 670;

Pedroni P. (2001): *“Purchasing power parity tests in cointegrated panels”*, *The Review of Economics and Statistics*, vol. 83, pp 727-731;

Pedroni P. (2004): *“Panel cointegration: asymptotic and finite sample properties of pooled time series tests with an application to the ppp hypothesis”*, *Econometric Theory*, Vol. 20, pp. 597 – 625;

Percebois (J.) (1999) : « *L'apport de la théorie économique aux débats énergétiques* », Revue de l'énergie, n° 509, P. 473-488 ;

Perron P. (1991): “*Test consistency with varying sampling frequency*”, *Econometric Theory*, vol. 7, pp. 341–368.

Perron P. (1997) : « *L'estimation de modèles avec changements structurels multiples* », *Actualité Economique*, Vol. 73, pp 457 – 505 ;

Pezzey J. C. V. 1989: “*Economic analysis of sustainable growth and sustainable development*”, Environment Department working paper 15, World Bank;

Phillips P. and Moon H. R. (2000): “*Non stationary panel data analysis: an overview of some recent developments*”, *Econometric Reviews*, Taylor and Francis Journals, vol. 19(3), pp 263-286;

Phillips, P.C.B, and Perron, P. (1988): “*Testing for a Unit Root in Time Series Regression*,” *Biometrika*, 75, 335-346

PISE (2005) “Présentation des résultats de l'étude du secteur de l'énergie des pays de l'UEMOA et du Cameroun ”, Rencontre Sectorielle ACP /EU pour La Promotion du Partenariat Interentreprises et des Investissements dans le Secteur de l'énergie ;

Ploeg F. v. d. and Withagen C. (1991): “*Pollution Control and the Ramsey Problem*”, *Environmental and Resource Economics*, Vol. 1, pp 215 – 236;

Quah D. (1993) : « *Galston's fallacy and tests of the convergence hypothesis* », *Scandinavian Journal of Economics*, Vol. 95, pp 427 – 443;

Quah D. (1996): “*Twin peaks: growth and convergence in models of distribution*”, *The Economic Journal*, Vol. 106, pp 1045 – 1055;

Ramirez M. D. (2006): “*Does foreign direct investment enhance labor productivity growth in Chile? A cointegration analysis*”, *Eastern Economic Journal*, Eastern Economic Association, vol. 32, pp 205-220;

Ramsey V. and Shapiro M. (1998): “*Costly capital reallocation and the effects of government spending*”, *Carnegie Rochester Conference on Public Policy*;

Rey S. and Montouri B. (1999): *“US regional income convergence: A spatial econometric perspective”*, Regional Studies, Vol. 33, pp 143 – 156;

Richmond A. K. & Kaufmann R. K. (2006): *“Is ther a turning point in the relationship between income and energy use and/or carbon emissions?”*, Ecol. Econ.,vol. 56, pp 176-189;

Roberts J. & Grimes P. (1997): *“Carbon intensity and economic development 1962-91: a bref exploration of the environmental Kuznets curve”*, World Development, Vol. 25, pp 191-198;

Romer P. M. (1986): *“Increasing returns and long run growth”*, Journal of Political Economy, Vol. 94, pp 1002 – 1037;

Romer D. C. and Romer C. H. (1994): *“What ends recessions?”*, NBER Macroeconomics Annual, Vol. 9, pp 13 – 57;

Roca J. (2003): *“Do individual preferences explain Environmental Kuznets Curve?”*, Ecological Economics, vol. 45, pp 3-10;

Royuela V. & Artis M. (2006): *“convergence analysis in term of quality of life in the urban system of Barcelona Province 1991-2000”*, Regional Studies, Vol. 40, pp 485-492;

Sarr F. et NDiaye C. T. (2010) : *« (A)symétrie et convergence des politiques et chocs budgétaires en zone UEMOA »*, http://www.univ-orleans.fr/leo/images/espace_perso/ndiaye/WP_2614.pdf

Schmalensee et al. (1998): *“World carbon dioxide emissions: 1950-2050”*, Review of Economics and Statistics, Vol. 80, pp 15-27;

Selden T. and Song D. (1994): *“Environmental quality and development: Is there a Kuznets Curve for air pollution emissions?”*, Journal of Environmental Economics and Management, vol. 27, pp 147-162;

Selden T. and Song D. (1995): *“Neoclassical growth, the J curve for abatement, and the inverted-U curve for pollution”*, Journal of Environmental Economics and Management, vol. 29, pp 162-168;

Sen A. and Srivastara S. M. (1975): *“On tests for detecting change in mean”*, The Annals of statistics, Vol. 3, pp 98 – 108;

Shafik N. (1994): *“Economic development and environmental quality: an econometric analysis”*, Oxford Economic Papers, Vol. 46, pp 757-773;

Shafik N. & Bandyopadhyay (1992): *“Economic development and environmental quality: Time series and cross country evidence”*, Background paper for the World Development report, (Washington DC: the World Bank, 1992);

Shiu A. and Lam P. (2004): *“Electricity consumption and economic growth in China”*, Energy Policy, vol. 32, pp 47-54;

Sims C. A (1972): *“Money, income, and causality”*, American Economic Association, vol. 62, pp 5540-552;

Sims C. A (1980): *“Macroeconomics and reality”*, Econometrica, vol. 48;

Squalli J. (2007): *“Electricity consumption and economic growth: bounds and causality analyses for OPEC members”*, Energy Economics, vol. 29, pp 1192-1205;

Solow R. M. (1956): *“A contribution to the theory of economic growth”*, Quarterly Journal of Economics, LXX, pp 65 – 94;

Soukiazis E. and Castro V. (2004): *“How the Maastricht rules affected the convergence process in European Union: A panel data analysis”*, Discussion Paper, N° 24, May;

Soytas U., Sari R. and Özdemir O. (2001): *“Energy consumption and GDP relation in Turkey: a cointegration and vector error correction analysis”*, Economies and Business in Transition: Facilitating Competitiveness and Change in the Global Environment Proceedings, 2001, pp. 838-844: Global Business and Technology Association”;

Soytas U. and Sari R. (2003): *“Energy consumption and GDP: causality relationship in G7 countries and emerging markets”*, Energy Economics, vol. 25, pp 33-37;

Soytas U. and Sari R. (2006): *“Energy consumption and income in G7 countries”*, Journal of Policy Modeling, vol. 28, pp 739-750;

Stern D. I. (2000): *“A multivariate cointegration analysis of the role of energy in the US macroeconomy”*, Energy Economics, vol. 22, pp 267-283;

Stern D. I., Common M. S. and Barbier E. B (1996):, *“Economic growth and environmental degradation: The Environmental Kuznets Curve and sustainable development”*, World Development, vol 24, pp 1151-1160;

Stern D. I., Common M. S. (2001): *“Is there an environmental Kuznets curve for sulfur”*, Journal of Environmental Economics and Management, Vol. 41, pp 162-178;

Stokey N. L. (1998): *“Are there limits to growth?”*, International Economics Review, vol. 39, pp 1-31;

Strazicich M. C. and List J. (2003): *“Are CO₂ emission levels converging among industrial countries”*, Environmental and Development Economics, Vol. 24, pp 263 – 271;

Sun, J. W. (1998): *“Changes in energy consumption and energy intensity: A complete decomposition model”*, Energy Economics, Vol. 20, pp 85–100;

Suri V. & Chapman D. (1998): *“Economic growth, trade and energy: implications for the environmental Kuznets curve”*, Ecological Economics, Vol. 25, pp 198-208;

Swan T. W. (1956): *“Economic growth and capital accumulation”*, Economic Record, Vol. 32, pp 334 – 361;

Toda H. Y. and Yamamoto T (1995): *“Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated process”*, Journal of Econometrics, vol. 66, pp 225-250;

Torras M. & Boyce J. K. (1998) : *« Income, inequality and pollution: A reassessment of the environmental Kuznets curve »*, Ecological Economics, Vol. 25, pp 147-160;

Tunc et al. (2009): *“A decomposition analysis of CO₂ emissions from energy use: Turkish case”*, Energy Policy, vol. 37, pp 4689-4699;

UEMOA (2008): *« rapport de la commission de l'UEMOA sur l'agenda et les principaux objectifs du forum des Nations Unis pour les forêts »*

Uhlig H. (2005): *“What are the effects of monetary policy ? Results from an agnostic identification procedure”*, Journal of Monetary Economics;

UNEP (United Nations Environment Programme) (2011): *“Decoupling natural resource use and environmental impacts from economic growth”*. A report of the Working Group on Decoupling to the International Resource Panel, edited by M. Fischer-Kowalski, M. Swilling, E. U. von Weizsäcker, Y. Ren, Y. Moriguchi, W. Crane, F. Krausmann, N. Eisenmenger, S. Giljum, P. Hennicke, P. Romero Lankao, and A. Siriban Manalang. Paris, France: International Resource Panel, UNEP.
<http://www.unep.org/resourcepanel/Publications/Decoupling/tabid/56048/Default.aspx>. Accessed November 2011

Van Ewijk C. & Van Wijnbergen (1995): *“Can abatement overcome the conflict between environment and economic growth?”*, Forthcoming in De Economist, Vol. 143;

Von Weizsäcker E. U. (1989): *“ökologische realpolitik an der schwelle zum jahrhundert der umwelt”*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt

Wang, C. M. (2010): *“Decoupling analysis of China economic growth and energy consumption. China Population”*, Resources and Environment, Vol. 20(3), pp 35-37;

Wang et al. (2011): *« CO₂ emissions, energy consumption and economic growth in China: a panel data analysis »*, Energy Policy, vol. 39, pp 4870-4875;

Wanko H. et Smida S. (2001) : *« Problématique du Mécanisme de Développement Propre et stratégie de développement durable pour les PVD »*, Colloque international Mondialisation, Energie, Environnement, Paris, 10-13 juin ;

Webber D. J. and White P. (2003): *“Regional factor price convergence across four major European countries”*, Regional Studies, Vol. 37 (8), pp 773 – 782;

Wolde-Rufael Y. (2005): *“Energy demand and economic growth: the African experience”*, Journal of Policy Modeling, vol. 27, pp 891-903;

Wooldridge J. M. (2001): *“Econometric analysis of cross section and panel data”*, The MIT Press.

Westerlund Joakim (2007): *“Testing for panel cointegration with multiple structural breaks”*, Oxford Bulletin of Economics and Statistics, vol. 68, pp. 101-132.

Wu D-M. (1973): *“Alternative tests on independence between stochastic regressors and disturbances”*, *Econometrica*, Vol. 41 (4), pp 733 – 750;

Yao Y-C. (1988): *“Estimating the number of change-points via Schwarz’ criterion”*, *Statistics and Probability Letters*, Vol. 6, pp 181 – 189;

Yoo S. (2005): *“Electricity consumption and economic growth: evidence from Korea”*, *Energy Policy*, vol. 33, pp 1627-1632;

Yoo S. (2006): *“The causal relationship between electricity consumption and economic growth in the ASEAN countries”*, *Energy Policy*, vol. 34 (18), pp 3573–3582.

Yu E. S. H. and Hwang B. K. (1984): *“The relationship between energy and GNP: further results”*, *Energy Economics*, vol. 6, pp 186-190;

Yu E. S. H. and Choi J. Y. (1985): *“The causal relationship between energy and GNP: an international comparison”*, *Journal of Energy and Development*, vol. 10, pp 249-272;

Yu E. S. H. and Jin J. C. (1992): *“cointegration test of energy consumption, income and employment”*, *Resources and Energy*, vol. 14, pp 259-266;

Zhang X-P. and Cheng X-M. (2009): *“Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in China”*, *Ecological Economics*, vol. 68, pp 2706-2712.

	<u>Page</u>
SOMMAIRE	1
Glossaire des abréviations	2
INTRODUCTION GENERALE	5
PARTIE 1 : ANALYSE DE LA RELATION PIB – ENVIRONNEMENT	17
INTRODUCTION DE LA PARTIE 1	19
CHAPITRE I : LA COURBE DE KUZNETS ENVIRONNEMENTALE (EKC) DANS L'UEMOA	21
I – Introduction	22
II – Une revue de littérature de l'EKC	24
<i>II – 1 – Le débat autour de la question de l'EKC</i>	24
<i>II – 2 – Quelques résultats empiriques de l'EKC</i>	28
III – Présentation du modèle	32
IV – Estimation de l'EKC	37
<i>IV – 1 – L'analyse descriptive des données</i>	37
<i>IV – 2 – Présentation des résultats</i>	43
<i>IV – 3 – Prise en compte du problème d'endogénéité</i>	51
V – Conclusion	57
ANNEXES DU CHAPITRE I	59
CHAPITRE II : CROISSANCE ECONOMIQUE ET ENVIRONNEMENT DANS L'UEMOA : UNE PRISE EN COMPTE DES EFFETS SPATIAUX	67
I – Introduction	68
II – Croissance et environnement : une cadre d'analyse basé sur le	
Processus de convergence	70
<i>II – 1 – Fondements théoriques de la convergence : le modèle</i> <i>de Solow (1956) comme cadre de référence</i>	71

II – 2 – Le « Green Solow Model » (GSM)	76
II – 3 – Le GSM et l'EKC	78
III – Croissance économique et convergence : une revue de littérature ...	82
IV – Convergence du PIB et du CO ₂ dans l'UEMOA : une prise en compte des effets spatiaux	85
IV – 1 – Dispersion du PIB et du CO ₂ : la σ -convergence	86
IV – 2 – La vitesse de convergence : la β -convergence	88
V – Sensibilité des résultats à la matrice de poids	106
VI – Conclusion	109
Annexes du chapitre II	111
CONCLUSION DE LA PARTIE 1	113
 PARTIE 2 : UNE ANALYSE BASEE SUR L'HETEROGENEITE DANS L'UEMOA	115
INTRODUCTION DE LA PARTIE 2	116
CHAPITRE III : LIEN DE CAUSALITE ENTRE LA CONSOMMATION D'ENERGIE, LE PIB ET LES EMISSIONS DE CO ₂	117
I – Introduction	118
II – Lien de causalité énergie – croissance – environnement : une revue de littérature	120
III – La méthodologie d'estimation du lien de causalité et les données ..	126
III – 1 – Les données	126
III – 2 – La méthodologie	127
IV – Les résultats	132
IV – 1 – Résultats des tests de racine unitaire	132
IV – 2 – Résultats des tests de cointégration	137
IV – 3 – analyse de la vitesse d'ajustement	139
V – Les relations de causalité de long terme dans l'UEMOA	142

VI – Conclusion	151
ANNEXES DU CHAPITRE III	153
CHAPITRE IV : ANALYSE DES CHOCS ENERGETIQUES, DES CHOCS DE POLLUTION ET DES CHOCS D’OFFRE	157
I – Introduction	158
II – Analyse des chocs	159
III – Corrélation des chocs dans l’UEMOA	171
<i>III – 1 – Corrélation des séries du PIB, de l’énergie et du CO₂ ..</i>	<i>171</i>
<i>III – 2 – Corrélation des chocs</i>	<i>175</i>
IV – Effets des chocs d’offre et de politique énergétique	176
<i>IV – 1 – les fonctions de réponse impulsionnelles</i>	<i>177</i>
<i>IV – 2 – La décomposition de la variance de l’erreur de prévision</i>	<i>189</i>
V – Conclusion	193
CONCLUSION DE LA PARTIE 2	195
CONCLUSION GENERALE	197
RECOMMANDATION	202
BIBLIOGRAPHIE	205
TABLE DES MATIERES	233
LISTE DES TABLEAUX	236
TABLE DES FIGURES	238

LISTE DES TABLEAUX

0-1	Evolution du taux de croissance dans l'UEMOA	3
I.1	Statistiques descriptives	38
I.2	Résultats du calcul de l'indice decoupling	42
I.3	Résultats de l'EKC pays par pays	44
I.4	Résultats de l'estimation du modèle en panel	46
I.5	Résultats de l'EKC par groupe de pays	50
I.6	Résultats de l'EKC avec prise en compte du problème d'endogénéité	52
I.7	Synthèse des résultats	55
A1	Statistiques descriptives pour le Bénin	59
A2	Statistiques descriptives pour le Burkina Faso	59
A3	Statistiques descriptives pour la Côte d'Ivoire	60
A4	Statistiques descriptives pour le Mali	60
A5	Statistiques descriptives pour le Niger	61
A6	Statistiques descriptives pour le Sénégal	61
A7	Statistiques descriptives pour le Togo	62
B	Résumé d'études empiriques sur l'EKC	63
C	Résultats de l'EKC par pays	66
II.1	Convergence conditionnelle du PIB par tête	98
II.2	Effets directs, indirects et totaux sur le PIB par tête	100
II.3	Convergence conditionnelle des émissions de CO ₂ par tête	103
II.4	Effets directs, indirects et totaux sur les émissions de CO ₂ par tête	104
II.5	Récapitulatif des résultats de l'analyse de la convergence	108
II.a	Convergence conditionnelle du PIB par tête avec une matrice distance	111
II.b	Convergence conditionnelle du CO ₂ par tête avec une matrice distance	112

LISTE DES TABLEAUX

III.1	Résultats des tests de racine unitaire dans l'UEMOA	133
III.2	Résultats des tests de cointégration de Johansen (1988)	138
III.3	Résultats de l'estimation de la vitesse d'ajustement	139
III.4	Relation de causalité de long terme (variable dépendante = $\ln(\text{PIB})$)	143
III.5	Relation de causalité de long terme (variable dépendante = $\ln(\text{En})$)	145
III.6	Relation de causalité de long terme (variable dépendante = $\ln(\text{CO}_2)$)	147
III.7	Tableau récapitulatif	150
a1	Résumé des études du lien énergie-croissance par des analyses en séries temporelles	153
b1	Résumé des études du lien énergie-croissance par des analyses en panel	154
a1	Sélection du nombre de retards optimal	155
IV.1	Corrélation des séries du PIB par tête entre les pays de l'UEMOA	172
IV.2	Corrélation des séries de l'énergie par tête entre les pays de l'UEMOA	173
IV.3	Corrélation des séries du CO_2 par tête entre les pays de l'UEMOA	175
IV.4	Corrélation des chocs d'offre entre les pays de l'UEMOA.....	175
IV.5	Corrélation des chocs énergétiques entre les pays de l'UEMOA	175
IV.6	Corrélation des chocs de pollution entre les pays de l'UEMOA	176
IV.7	Décomposition de la variance de l'erreur de prévision du Bénin (%)	189
IV.8	Décomposition de la variance de l'erreur de prévision du Burkina Faso (%) ...	189
IV.9	Décomposition de la variance de l'erreur de prévision de la Côte d'Ivoire (%)	190
IV.10	Décomposition de la variance de l'erreur de prévision du Mali (%)	190
IV.11	Décomposition de la variance de l'erreur de prévision du Niger (%)	190
IV.12	Décomposition de la variance de l'erreur de prévision du Sénégal (%)	191
IV.13	Décomposition de la variance de l'erreur de prévision du Togo (%)	191

TABLE DES FIGURES

0-1	Emissions de CO ₂ (million de kilotonne) entre 1960-2009	5
0-2	Taux de croissance du PIB réel selon les niveaux de développement	7
0-3	Taux de croissance du CO ₂	8
I.1	Les différentes phases de l'EKC	24
I.2	Différentes formes de la relation croissance-environnement	33
I.3	Représentation stylisée du decoupling des ressources et des impacts	40
II.1	L'EKC à partir du GSM	81
II.2	Sigma convergence du PIB par tête et du CO ₂ par tête	86
III.1	Triangles de causalité de long terme	149
IV.1	Chocs d'offre dans l'UEMOA	168
IV.2	Chocs énergétiques dans l'UEMOA	169
IV.3	Chocs de pollution dans l'UEMOA	170
IV.4	Réponses du PIB au choc d'offre dans l'UEMOA	180
IV.5	Réponses de l'énergie au choc d'offre dans l'UEMOA	182
IV.6	Réponses du CO ₂ au choc d'offre dans l'UEMOA	183
IV.7	Réponses du PIB au choc énergétique dans l'UEMOA	185
IV.8	Réponses de l'énergie au choc énergétique dans l'UEMOA	187
IV.9	Réponses du CO ₂ au choc énergétique dans l'UEMOA	188

VU :

VU :

Le Directeur de Thèse

Le Responsable de l'École Doctorale

Isabelle CADORET-DAVID

Franck MORAUX

VU pour autorisation de soutenance

Rennes, le

Le Président de l'Université de Rennes 1

Guy CATHELINEAU

VU après soutenance pour autorisation de publication :

Le Président de Jury,

Energie, croissance et environnement dans l'UEMOA

Les pays membres de l'UEMOA (Union Economique et Monétaire Ouest Africaine) ont décidé, en 1994, de coordonner leurs actions dans les secteurs de l'environnement et de l'énergie. En s'inspirant de la théorie des Zones Monétaires Optimales (ZMO), qui fonde la formation d'une union monétaire, la thèse examine l'homogénéité des pays en terme de croissance et environnement afin d'établir si les pays de l'union doivent adopter des politiques communes. La première partie étudie la relation croissance – environnement dans des cadres statique et dynamique. Ensuite la seconde partie analyse le lien de causalité entre les variables PIB – énergie - CO₂ pour chaque pays, d'une part et la symétrie des chocs entre pays d'autre part. Les résultats montrent que la relation croissance-environnement est plutôt positive et que les chocs sont asymétriques. En définitive, la thèse conclut à une forte hétérogénéité des pays de la zone et qu'il est donc plus approprié pour le moment de mettre en place une stratégie en termes d'objectifs pour la croissance et la limitation de la pollution.

Mots clés : Croissance économique, Environnement, Chocs, Asymétrie, Hétérogénéité

Energy, environment and growth in the WAEMU

The member countries of the WAEMU (West African Economic and Monetary Union) decided in 1994 to coordinate their actions in the areas of environment and energy. Inspired by the theory of Optimal Monetary Area (OMA), which contemplates the formation of a monetary union, the thesis examines the homogeneity of the countries in terms of growth and environment in order to establish whether the WAEMU countries must adopt common policies. The first part examines the relationship between growth and environment in static and dynamic frameworks. Then the second part analyzes the causal relationship between the variables GDP - energy - CO₂ for each country on the one hand and the symmetry of shocks between countries on the other. The results show that the growth - environment relationship is quite positive and that the shocks are asymmetric. Ultimately, the thesis concludes with a strong heterogeneity of the countries of the area and it is therefore more appropriate at this time to develop a strategy in terms of objectives for growth and limiting pollution.

Keywords: Economic Growth, Environment, Asymmetric shocks, Heterogeneity